



**Universidade de Aveiro**  
**2018**

Departamento de Engenharia  
Mecânica

**Bárbara Gomes Melo**  
**Romeira**

**Planeamento da manutenção preditiva**  
**no contexto da indústria 4.0**





**Bárbara Gomes Melo  
Romeira**

**Planeamento da manutenção preditiva  
no contexto da indústria 4.0**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor José Paulo Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e coorientação da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.



## O júri

Presidente

**Prof. Doutor Victor Fernando Santos Neto**

Professor Auxiliar em regime laboral da Universidade de Aveiro

Vogais

**Prof. Doutor António José Galvão Ramos**

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto (Arguente)

**Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos**

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)



## **agradecimentos**

Gostaria de começar por agradecer ao Professor Doutor José Paulo Santos e à Professora Doutora Ana Moura por toda a disponibilidade e apoio dado ao longo de toda a elaboração deste trabalho.

Agradeço à OLI pela oportunidade de me permitir realizar este trabalho em ambiente industrial e por toda a disponibilidade. Agradeço, em especial ao Eng<sup>o</sup> Luís Sousa por toda ajuda disponibilizada e pela inegável paciência ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço ao grupinho do chá, por todos os momentos partilhados e pelo constante e incansável apoio e motivação. Sem vocês estes cinco anos não teriam sido os melhores de sempre, obrigada por tudo!

Agradeço à minha querida e amada irmã, por ser a melhor irmã do mundo e a minha heroína no que toca a virgulas. Obrigada por reveres toda esta dissertação e por fazeres com que as minhas frases sejam legíveis. Obrigada pela paciência, pelas noitadas em que foste obrigada a fazer-me companhia e por animares sempre a tua irmã sensível. És o meu orgulho!

Agradeço ao meu pai por acreditar em mim e por me encorajar todos os dias a fazer o meu melhor. Obrigado por toda a confiança e todo o orgulho, espero ser capaz de um dia alcançar tudo o que desejas para mim.

Por último, agradeço à minha mãe por ter estado sempre do meu lado, por ser o meu porto seguro e por nunca me permitir duvidar de mim mesma. Obrigada por “teres tirado este curso comigo”, sem ti nunca teria sido capaz de chegar onde cheguei. Quando “crescer” espero ser como tu.





## palavras-chave

Manutenção Preditiva, Indústria 4.0, Automação, Plataforma *web*, Esp8266, Base de Dados

## resumo

A crescente competitividade do mercado aliada ao aumento da automatização pretendida pela indústria 4.0 põe em destaque a importância da manutenção no seio das organizações. As empresas devem assim repensar as atuais estratégias de manutenção de modo a evitar interrupções não planeadas na produção, que coloquem em risco o lucro e a produtividade das mesmas. Neste cenário, é vantajoso implementar uma filosofia de manutenção preditiva. A manutenção preditiva permite prever avarias e calcular o tempo de vida útil restante do equipamento até que as mesmas ocorram, o que fornece à manutenção tempo para planear, atempada e antecipadamente, as suas intervenções, evitando as avarias ou, pelo menos, reduzindo o seu impacto. Neste trabalho foi desenvolvido um *software*, implementado numa plataforma *web*, de apoio ao planeamento da manutenção preditiva para a empresa OLI – Sanitários, S.A.. A plataforma desenvolvida permite a monitorização, em tempo real, dos parâmetros críticos do equipamento possuindo também outras funcionalidades. No entanto a falta de informação relacionada com as avarias do equipamento usado para este estudo e o facto do mesmo possuir uma disponibilidade média de 98% (o equipamento encontra-se capaz de executar a sua função 98% do tempo de produção) impediu a obtenção de dados suficientes para o desenvolvimento e implementação de algoritmos de deteção de avarias, com exceção do algoritmo para a deteção de fugas de óleo lubrificante. Foi também desenvolvido o *hardware* que viabiliza a recolha dos parâmetros críticos da máquina para obtenção de informação e dados de input para o sistema de monitorização.

O *hardware* e o sistema de monitorização desenvolvidos encontram-se atualmente em funcionamento na OLI e os resultados vão de encontro ao esperado. Contudo existem outras funcionalidades implementadas na plataforma *web* que terão ainda de ser testadas em ambiente operacional e de forma rigorosa para que se possa determinar a sua viabilidade.



**keywords**

Predictive Maintenance, Industry 4.0, Automation, Web platform, Esp8266, Data Base

**abstract**

The increasing competitiveness of markets combined with the higher automation demanded by industry 4.0 highlights the importance of maintenance within organisations. Thus, companies must rethink their current maintenance strategies, so they can avoid unscheduled outages that may place their profit and productivity at risk. In this scenario would be beneficial to implement a predictive maintenance philosophy. Predictive maintenance enables fault prediction and the calculation of the remaining useful life of the equipment, which provides maintenance time to plan, ahead and in good time, their interventions, so they can avoid breakdowns or at least reduce their impact. In the present dissertation, a web platform, to support predictive maintenance planning for the company OLI – Sanitários, S.A., was developed. The designed platform allows real-time monitoring of the equipment's critical parameters, but it also has other functionalities. However, the lack of information related to the select machine's breakdowns and its average availability of 98% (98% of the production time, the referred machine can execute its function), prevented the development and implementation of fault detection algorithms, except the algorithm for lubricant oil leakage detection. In addition to the web platform, it was also developed the hardware that enables the data collection of the machine's critical parameters. The hardware and the monitoring system developed are currently in operation at OLI and, the results are as expected. Nevertheless, the other functionalities implemented in the web platform will have to undergo some rigorous tests in an operational environment, so that its viability may be determined.



# Índice

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Introdução   | 1  |
| 1.1   | Contexto e Motivação   | 1  |
| 1.2   | Objetivos e metodologias                                       | 2  |
| 1.3   | Desafio proposto pela empresa                                  | 2  |
| 1.4   | Estrutura da dissertação                                       | 3  |
| 2     | A Empresa  | 5  |
| 2.1   | História da empresa  | 5  |
| 2.2   | Produtos   | 5  |
| 2.3   | Softwares IFS e STAIN  | 6  |
| 2.3.1 | Compreender o processo   | 7  |
| 2.4   | Analisar impacto interno da solução a desenvolver              | 9  |
| 2.5   | Analisar impacto externo da solução a desenvolver              | 10 |
| 3     | Enquadramento teórico  | 13 |
| 3.1   | Processo de injeção de termoplásticos                          | 13 |
| 3.1.1 | Constituição de uma máquina de moldação por injeção            | 13 |
| 3.1.2 | Processo de moldação por injeção                               | 14 |
| 3.1.3 | Variáveis do processo  | 15 |
| 3.1.4 | Defeitos no processo de moldação por injeção de termoplásticos | 17 |
| 3.1.5 | Sensores e sistemas de aquisição de dados na Indústria         | 18 |
| 3.2   | A Manutenção   | 21 |
| 3.2.1 | Evolução histórica da Manutenção                               | 22 |
| 3.2.2 | Tipos de Manutenção  | 22 |
| 3.2.3 | Desempenho da Manutenção                                       | 25 |
| 3.3   | Manutenção Preditiva   | 29 |
| 3.3.1 | Aquisição de dados   | 30 |
| 3.3.2 | Processamento de dados   | 31 |
| 3.3.3 | Diagnóstico  | 33 |
| 3.3.4 | Prognóstico  | 34 |
| 3.4   | Indústria 4.0  | 35 |
| 3.4.1 | Evolução histórica e conceito                                  | 35 |
| 3.4.2 | Alguns dos principais componentes da indústria 4.0             | 36 |
| 3.4.3 | Princípios base da Indústria 4.0                               | 38 |
| 3.4.4 | Manutenção na Indústria 4.0                                    | 39 |
| 3.4.5 | Desenvolvimento Sustentável na Indústria 4.0                   | 40 |
| 3.5   | Unified Modelling Language (UML)                               | 41 |
| 3.5.1 | Objetos, Classes, Atributos e Métodos                          | 41 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.5.2 | Diagramas utilizados no UML  | 42  |
| 4     | Solução proposta e sua implementação   | 47  |
| 4.1   | Solução proposta   | 47  |
| 4.2   | Planeamento para a implementação da solução                                      | 49  |
| 4.3   | <i>Hardware</i> implementado   | 52  |
| 4.3.1 | NodeMCU ESP8266-12E  | 52  |
| 4.3.2 | Circuito Integrado MAX6675   | 54  |
| 4.3.3 | Sensor de pressão  | 55  |
| 4.3.4 | Número de ciclos   | 59  |
| 4.3.5 | Placas de circuito impresso  | 60  |
| 4.4   | <i>Software</i> desenvolvido   | 61  |
| 4.4.1 | Desenvolvimento da Base de dados   | 62  |
| 4.4.2 | Programação do microcontrolador e controlo da temperatura                        | 70  |
| 4.4.3 | Plataforma <i>Web</i> desenvolvida   | 77  |
| 4.4.4 | Utilização da plataforma desenvolvida para o planeamento da manutenção preditiva | 100 |
| 5     | Considerações finais   | 105 |
| 5.1   | Conclusões   | 105 |
| 5.2   | Trabalhos futuros  | 108 |
|       | Referências Bibliográficas   | 111 |
|       | Apêndices  | 117 |
|       | Apêndice A   | 118 |
|       | Apêndice B   | 119 |
|       | Apêndice C   | 121 |
|       | Apêndice D   | 124 |
|       | Apêndice E   | 125 |
|       | Apêndice F   | 127 |
|       | Apêndice G   | 136 |
|       | Apêndice H   | 138 |
|       | Apêndice I   | 140 |
|       | Apêndice J   | 141 |

# Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Imagens ilustrativas dos produtos comercializados pela OLI. _____  | 6  |
| Figura 2.2– Diagrama de atividades (em UML) do processo de reação à paragem de uma máquina. _____   | 8  |
| Figura 2.3 – Diagrama dos contributos da plataforma a desenvolver para alcançar a performance desejada. _____                               | 11 |
| Figura 3.1 – Máquina de moldação por injeção e os seus componentes principais. _____  | 13 |
| Figura 3.2 – Ciclo do processo de moldação por injeção. _____   | 14 |
| Figura 3.3 – Funcionamento de um transdutor. _____  | 20 |
| Figura 3.4 – Diagrama representativa do processo de aquisição de dados. _____   | 20 |
| Figura 3.5 – Vários tipos de manutenção. _____  | 23 |
| Figura 3.6 – Componentes do desempenho da manutenção. _____   | 26 |
| Figura 3.7 – Fases da manutenção preditiva. _____   | 30 |
| Figura 3.8 – Tipos de dados adquiridos. _____   | 30 |
| Figura 3.9 – Diagrama representativo dos processos de diagnóstico e prognóstico. _____  | 34 |
| Figura 3.10 – Tipos de diagramas UML. _____   | 42 |
| Figura 3.11 – Exemplo da representação de um diagrama de classes. _____   | 42 |
| Figura 3.12 – Representação gráfica das relações num diagrama de classes. _____   | 43 |
| Figura 3.13– Exemplo de representação de um diagrama de casos de uso. _____   | 43 |
| Figura 3.14 – Exemplo de representação de um diagrama de atividades. _____  | 44 |
| Figura 3.15 – Representação gráfica das relações num diagrama de atividades. _____  | 45 |
| Figura 3.16 – Exemplo de representação de um diagrama de sequência. _____   | 45 |
| Figura 4.1 – Esquema da Solução Proposta. _____   | 48 |
| Figura 4.2 – Esquema final da solução proposta. _____   | 51 |
| Figura 4.3 – Mapeamento dos pinos da placa NodeMCU. _____   | 53 |
| Figura 4.4 – ESP8266-12E e o seu “mapa de pinos”. _____   | 53 |
| Figura 4.5 – Localização dos sensores de temperatura na máquina de injeção. _____   | 54 |
| Figura 4.6 – Compensação de junta fria. _____   | 54 |
| Figura 4.7 – Esquema ilustrativo das ligações entre o termopar, o circuito integrado MAX6675 e o microcontrolador. _____                    | 55 |
| Figura 4.8 – Localização dos sensores de pressão na máquina de injeção. _____   | 56 |
| Figura 4.9 – Divisor resistivo e filtro passa-baixo para o sensor de pressão. _____   | 56 |
| Figura 4.10 – Esquema ilustrativo das ligações entre o Circuito Sensor + Divisor resistivo + Filtro passa-baixo e o microcontrolador. _____ | 57 |
| Figura 4.11 – Gráfico da relação Pressão-Tensão. _____  | 58 |
| Figura 4.12 – Código para obtenção do valor de pressão a partir do $\mu C$ . _____  | 58 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.13 – Circuito para a contagem do número de ciclos. _____   | 59 |
| Figura 4.14 – Esquema ilustrativo das ligações entre o microcontrolador e o circuito de contagem de ciclos. _____   | 60 |
| Figura 4.15 – Placa PCB para alimentação dos dispositivos MAX6675 e do sensor de pressão. _____   | 61 |
| Figura 4.16 – Placa PCB para a medição do tempo de produção. _____  | 61 |
| Figura 4.17 – Atributos para a construção da base de dados. _____   | 63 |
| Figura 4.18 – Atributos particulares da classe Máquina, classe Variáveis e da classe Ciclos. _____  | 64 |
| Figura 4.19 – Relação de generalização entre a classe Máquina e as classes Variáveis e Estado. _____  | 66 |
| Figura 4.20 – Relações entre as classes <i>Login</i> , Reparação e Máquina. _____   | 66 |
| Figura 4.21 – Relações entre as classes <i>Login</i> , Autónoma e Máquina. _____  | 66 |
| Figura 4.22 – Relação entre as classes Máquina e Molde. _____   | 67 |
| Figura 4.23 – Relação entre as classes Molde e Parâmetros. _____  | 67 |
| Figura 4.24 – Diagrama de classes para o Sistema desenvolvido. _____  | 67 |
| Figura 4.25 – Identificação das chaves primárias das várias classes do sistema. _____   | 68 |
| Figura 4.26 – Diagrama de classes final. _____  | 70 |
| Figura 4.27 – Diagrama de atividades (em UML) do <i>software</i> do microcontrolador. _____   | 71 |
| Figura 4.28 – Código para enviar <i>email</i> ao responsável da manutenção caso os valores de temperatura medidos estejam fora dos limites estipulados. _____         | 72 |
| Figura 4.29 – Exemplo do <i>email</i> recebido pelo responsável da manutenção, a alertar que os valores de temperatura se encontram fora dos limites. _____           | 73 |
| Figura 4.30 – Dados recolhidos pelos sensores de temperatura para a primeira utilização do molde. _____   | 74 |
| Figura 4.31 – Dados recolhidos pelos sensores de temperatura para a segunda utilização do molde. _____  | 74 |
| Figura 4.32 – Dados obtidos após a remoção dos tempos de <i>setup</i> e dos tempos correspondentes a paragens para a primeira utilização do molde. _____              | 75 |
| Figura 4.33 – Dados obtidos após a remoção dos tempos de <i>setup</i> e dos tempos correspondentes a paragens para a segunda utilização do molde. _____               | 75 |
| Figura 4.34 – (a) Gráfico R obtido para a temperatura de injeção através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura de injeção através do Minitab. _____  | 76 |
| Figura 4.35 – (a) Gráfico R obtido para a temperatura da zona 3 através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura da zona 3 através do Minitab. _____    | 76 |
| Figura 4.36 – (a) Gráfico Rbar obtido para a temperatura da zona 2 através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura da zona 2 através do Minitab. _____ | 77 |
| Figura 4.37 – Diagrama de atividades geral (em UML) da plataforma <i>web</i> desenvolvida. _____  | 78 |
| Figura 4.38 – Diagrama de casos de uso (em UML) para a plataforma desenvolvida. _____   | 79 |
| Figura 4.39 – Página Inicial da plataforma <i>web</i> desenvolvida. _____   | 80 |
| Figura 4.40 – Página de <i>Login</i> da plataforma desenvolvida. _____  | 80 |
| Figura 4.41 – Diagrama de atividades (em UML) da página de <i>Login</i> . _____   | 81 |
| Figura 4.42 – Diagrama de atividades (em UML) da página de manutenção autónoma. _____   | 83 |
| Figura 4.43 – Formulário de manutenção autónoma. _____  | 84 |
| Figura 4.44 – Esquema para a medição do nível de óleo lubrificante. _____   | 85 |
| Figura 4.45 – Exemplo de <i>email</i> recebido pelo responsável da manutenção com o relatório de manutenção autónoma. _____   | 85 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.46 – Algoritmo para detecção de fugas de óleo lubrificante. _____  | 86  |
| Figura 4.47 – Diagrama de sequência (em UML) do envio do <i>email</i> de aviso segundo os resultados do algoritmo de detecção de fugas de óleo. _____ | 87  |
| Figura 4.48 – Exemplo do <i>email</i> recebido pelo responsável da manutenção a alertar de uma fuga de óleo lubrificante. _____                       | 88  |
| Figura 4.49 – Diagrama de atividades (em UML) da página de registo de avarias. _____  | 89  |
| Figura 4.50 – Página de monitorização da plataforma <i>web</i> . _____  | 90  |
| Figura 4.51 – (a) Página de localização dos sensores de temperatura; (b) Página de localização dos sensores de pressão. _____                         | 90  |
| Figura 4.52 – Gráfico da temperatura no bico de injeção da máquina. _____   | 91  |
| Figura 4.53 – Diagrama de atividades (em UML) da página de monitorização. _____   | 92  |
| Figura 4.54 – Diagrama de sequência (em UML) dos gráficos em tempo real. _____  | 93  |
| Figura 4.55 – Diagrama de atividades (em UML) da página de gestão de acessos. _____   | 94  |
| Figura 4.56 – Diagrama de atividades (em UML) da página do molde. _____   | 96  |
| Figura 4.57 – Formulário para a alteração das temperaturas limites existentes. _____  | 97  |
| Figura 4.58 – Diagrama de sequência (em UML) para o cálculo dos indicadores MTTR e MTBF e da disponibilidade da máquina. _____                        | 98  |
| Figura 4.59 – Exemplo do cálculo dos indicadores MTTR e MTBF e da disponibilidade da máquina. ____  | 99  |
| Figura 4.60 – Exemplo de uma página de histórico. _____   | 99  |
| Figura 4.61 – Exemplo de uma página de sucesso. _____   | 100 |
| Figura 4.62 – (a) Página de acesso negado devido ao estatuto. (b) Página de acesso negado devido às credenciais de <i>login</i> . _____               | 100 |
| Figura 4.63 – Procedimento para a detecção e tratamento de padrões de avaria. _____   | 102 |
| Figura 4.64 – Condições de funcionamento anormais detetadas para a primeira avaria. _____   | 103 |
| Figura 4.65 – Condições de funcionamento detetadas para a segunda avaria. _____   | 103 |



# Lista de Tabelas

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2.1 – Custos associados à manutenção. _____   | 9   |
| Tabela 2.2 – Benefícios financeiros após a aplicação de uma filosofia de manutenção preditiva. _____ | 9   |
| Tabela 3.1 – Exemplos de combinações de multiplicidade. _____  | 43  |
| Tabela 4.1 – Tabela “Variáveis” presente na base de dados. _____                                     | 68  |
| Tabela 4.2 – Tabela “Estado” da base de dados. _____   | 69  |
| Tabela 4.3 – Tabela “Login” presente na base de dados. _____   | 69  |
| Tabela 4.4 – Tabela “Registro” presente na base de dados. _____                                      | 69  |
| Tabela 4.5 – Tabela “Autônoma” presente na base de dados. _____                                      | 69  |
| Tabela 4.6 – Tabela “Molde” da base de dados. _____  | 69  |
| Tabela 4.7 – Tabela “Parâmetros” da base de dados. _____   | 69  |
| Tabela 4.8 – Limites máximos e mínimos da temperatura para o molde ML1059. _____                     | 77  |
| Tabela 5.1 – Objetos versus evidências. _____  | 105 |
| Tabela 5.2 – Novas funcionalidades não previstas nos requisitos. _____                               | 107 |



# Glossário de termos

| <b>Termo</b>             | <b>Significado</b>  |
|--------------------------|---|
| <b>Algoritmo</b>         | Procedimento computacional que toma como input um valor, ou um conjunto de valores, e a partir destes produz um valor, ou conjunto de valores, como output.   |
| <b>Avaria</b>            | Ocorrência que determina a degradação ou cessação da aptidão para desempenhar uma função requerida. Por regra uma avaria determina uma intervenção de manutenção e tem associado um sintoma e uma causa.  |
| <b>Competitividade</b>   | Uma empresa é competitiva quando ela é capaz de oferecer produtos e serviços de qualidade maior, custos menores, e tornar os consumidores mais satisfeitos do que quando servidos por rivais  |
| <b>Desperdício</b>       | Toda a atividade, material ou não, que não é reconhecida pelo cliente como valor e que resulta no aumento de custo e de tempo.  |
| <b>Disponibilidade</b>   | Aptidão de um bem para executar a sua função, como e quando esta é requerida, sob determinadas condições, e assumindo que todos os recursos externos necessários são fornecidos.  |
| <b>Eficácia</b>          | Medida em que as atividades planeadas são realizadas e atingidos os resultados planeados.   |
| <b>Eficiência</b>        | Relação entre os resultados obtidos e os recursos utilizados.   |
| <b>Exatidão</b>          | Define quão perto o valor medido pelo instrumento se encontra do valor real, ou seja, é o erro máximo que se pode esperar numa medição;   |
| <b>Faixa de operação</b> | Determinada pelos valores, máximo e mínimo, da variável que podem ser medidos.  |
| <b>Falha</b>             | Interrupção da função ou desempenho. A incapacidade em continuar a manter um dado padrão.   |
| <b>Lead time</b>         | Tempo necessário para realizar uma dada tarefa, trabalho, produto ou serviço. É o tempo composto pelo tempo útil e o tempo não produtivo.   |
| <b>Planeamento</b>       | Primeiro passo no processo de gestão. Consiste na seleção dos objetivos mensuráveis e nas decisões das ações que levarão à realização desses objetivos.   |
| <b>Precisão</b>          | Capacidade de um sensor gerar a mesma resposta na saída para uma mesma variável de entrada.   |
| <b>Produtividade</b>     | Medida ou rácio do valor produzido por um sistema em relação a um determinado nível de inputs utilizados.   |
| <b>Sensibilidade</b>     | Definida como o valor mínimo que a variável de entrada deve possuir, para que seja detetada uma variação na saída.  |
| <b>Setup</b>             | Refere-se às atividades de mudança, ajuste e preparação do equipamento para o fabrico de um novo lote ou um novo produto. Também inclui atividades realizadas durante o processamento (por exemplo, ajustes, mudanças de ferramenta, etc.)                                |
| <b>Tempo de ciclo</b>    | Para uma máquina representa o tempo de saída de peças consecutivas.   |
| <b>Usabilidade</b>       | Característica que determina se o manuseio de um produto é fácil, de rápida aprendizagem, dificilmente esquecido, não provoca erros operacionais, aumenta o nível de satisfação dos seus usuários e se resolve eficientemente as tarefas para as quais ele foi projetado. |



# Lista de Acrónimos

μC – Microcontrolador  
BD – Base de dados  
CPS – Sistemas Ciberfísicos  
DDF – Diagrama de Dependências Funcionais  
DER – Diagramas de Entidade/Relação  
IC – *Integrated Circuit*  
IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação  
IoS – Internet dos serviços  
IoT – Internet das coisas  
IoT – *Internet of things*  
KPI – *Key Performance Indicators*  
MC – Manutenção Condicionada  
MCNP – Manutenção Corretiva não planeada  
MCP – Manutenção Corretiva planeada  
MPd – Manutenção Preditiva  
MPS – Manutenção Preventiva Sistemática  
MTBF – *Mean Time Between Failures*  
MTTR – *Mean Time To Repair*  
MWT – *Mean Waiting Time*  
OEE – *Overall Equipment Efficiency*  
OT – Ordem de trabalho  
PCB – *Printed Circuit Board*  
PWM – *Pulse Width Modulation*  
RBM – *Reliability Based Maintenance*  
RCM – *Reliability Centered Maintenance*  
RUL – *Remaning useful life*  
SGBD – Sistemas de Gestão de Bases de Dados  
SPI – *Serial Peripheral Interface*  
SQL – *Structured Query Language*  
TPM – *Total Productive Maintenance*  
TSA – *Time Synchronous Average*  
UML – *Unified Modelling Language*  
XML – *Extensible Markup Language*





# 1 Introdução

## 1.1 Contexto e Motivação

A contínua globalização e as constantes mudanças sociais, políticas, culturais e económicas provocam rápidas e incessantes alterações no mercado. Este clima de repetidas alterações obriga as empresas a procurar novas técnicas e tecnologias inovadoras, que lhes permitam aumentar a produtividade e o lucro, se pretendem sobreviver. Adicionalmente, as crescentes exigências dos clientes por produtos customizados, de maior qualidade, a um mais baixo custo e com curtos prazos de entrega forçam as empresas a repensar os seus sistemas de produção, com o intuito de os tornar mais flexíveis e eficientes, e a eliminar as atividades que não acrescentam valor ao produto na perspetiva do cliente. Para além disso, devido às novas legislações ambientais e ao aumento da consciência ambiental, as empresas devem procurar formas eficientes de utilizar os seus recursos (Alsyounf, 2007).

É neste cenário de grande competitividade e rápidas mudanças que se inicia uma nova revolução conhecida como Indústria 4.0. Esta nova metodologia consiste em conectar todos os constituintes da instalação fabril para que recolham e troquem informação que lhes irá permitir tomar decisões em tempo real e de forma independente. No entanto, apesar deste conceito permitir aumentar a produtividade e consequentemente o lucro das organizações, exige também que as empresas se encontrem altamente automatizadas, o que as torna muito dependentes das tecnologias e cada vez mais complexas. Estas razões enaltecem a importância da manutenção nas organizações, uma vez que uma avaria que resulte na interrupção não planeada da produção possui um grande impacto na produtividade e no lucro da empresa (Alsyounf, 2007; Mobley, 2002). Ademais, o facto de a manutenção ser responsável por, aproximadamente, 15 a 60% dos custos totais de operação, contribui para que as organizações comecem a pensar na manutenção como algo fulcral para a competitividade e produtividade (Alsyounf, 2007; Efthymiou *et al.*, 2012; Mobley, 2002).

Desta forma, ao repensar as estratégias de manutenção à luz das novas tecnologias da indústria 4.0, surge o conceito de manutenção preditiva. Esta técnica de manutenção consiste na monitorização, em tempo real, com o objetivo de utilizar tais dados para determinar as condições ideais de funcionamento do equipamento, encontrar padrões de falha e prever, atempadamente, avarias e o tempo de vida útil dos equipamentos. A importância deste tema no atual ambiente competitivo é demonstrada pelas suas várias vantagens, como: a redução dos custos de produção, das ações de manutenção e da sua duração; a maximização da produtividade e a melhoria da qualidade dos produtos e das condições de segurança, o aumento da disponibilidade dos equipamentos e da sua vida útil, e ainda um aumento da eficiência na utilização dos recursos. Estas vantagens constituem a

motivação para este trabalho, uma vez que tornam este tema altamente aliciante, extremamente atual e inovador.

## 1.2 Objetivos e metodologias

Conhecendo as vantagens da utilização de uma filosofia de manutenção preditiva, o presente trabalho pretende auxiliar as tarefas da área da manutenção, permitindo um melhor controlo sobre o estado do equipamento e reduzindo, ao mesmo tempo, os custos a ela associados através do desenvolvimento de uma plataforma *web* para o planeamento da manutenção preditiva.

A plataforma a desenvolver deve permitir monitorizar em tempo real os parâmetros críticos do equipamento, sendo por isso necessário desenvolver também todo o *hardware* usado para a medição dos referidos parâmetros. Esta plataforma deve ser capaz de alertar, em tempo real, a equipa de manutenção para condições de funcionamento anormais por parte do equipamento.

Para este trabalho, devem ainda ser elaborados e integrados na plataforma algoritmos, cuja função é detetar padrões de avaria, de forma a possibilitar a identificação de avarias antes que as mesmas ocorram ou antes que se tornem catastróficas. De ambas as formas, a equipa de manutenção poderá planear atempadamente a sua intervenção, evitando a avaria ou reduzindo o seu impacto.

Adicionalmente, a plataforma *web* deve ser compatível com qualquer dispositivo eletrónico (computador, *tablet* ou *smartphone*) e deve poder ser acedida a partir de qualquer lugar e em qualquer altura.

## 1.3 Desafio proposto pela empresa

O presente trabalho foi elaborado usando como caso de estudo a empresa OLI, em particular no departamento de manutenção industrial, que considerou o projeto interessante e uma mais-valia para aumentar a sua eficiência. Neste sentido, este departamento selecionou uma máquina que serviria de piloto para testar a viabilidade da solução desenvolvida. Definiu-se assim que a máquina a usar para o âmbito deste trabalho seria a máquina de injeção de plástico Maico Saving 260, escolhida pela sua maior disponibilidade de paragem.

Foram também propostos pelo departamento objetivos adicionais para o projeto, que se encontram direcionados especificamente para as necessidades da empresa. O principal objetivo da empresa ao considerar este projeto é, a longo prazo, diminuir o tempo médio de reparação e aumentar o tempo médio entre avarias. Isto porque, um tempo médio de reparação elevado implica a paragem da produção, o que possui um custo de 8,81€ por cada hora que a máquina esta parada, acarreta um custo de 2,278€ por cada hora de trabalho que o operador se encontra parado e um custo de, aproximadamente 4,264€ por cada hora de trabalho do técnico de manutenção. No caso do tempo médio entre avarias, o facto de a

empresa possuir um tempo pequeno, significa que existem muitas avarias num curto intervalo de tempo. Tal como anteriormente, isto implica um aumento dos custos de manutenção e um aumento dos custos de produção.

A empresa também considerou que seria uma mais-valia calcular os indicadores que medem os dois parâmetros anteriores de uma forma automática, uma vez que este cálculo, ao ser realizado manualmente, custa ao colaborador que o executa, aproximadamente, 5 horas de trabalho em cada mês.

Para além dos objetivos mencionados, a empresa propôs outros mais específicos para a plataforma *web* a desenvolver:

- Interface de fácil manuseamento para a monitorização dos parâmetros;
- Identificar o técnico de manutenção que interveio na máquina para uma dada avaria e identificar a duração dessa intervenção;
- Manipular automaticamente os dados armazenados, com o objetivo de calcular indicadores essenciais à empresa;
- Analisar os dados da máquina para detetar avarias e avisar a manutenção;
- A plataforma deve permitir exportar os dados das avarias para um ficheiro Excel;
- Obter número de ciclos da máquina.

## 1.4 Estrutura da dissertação

De forma a definir uma estrutura lógica para a presente dissertação, esta foi dividida nos 6 capítulos identificados a seguir.

No capítulo 2, será realizada uma breve apresentação da empresa, seguindo-se a explicação do processo despoletado após a deteção da paragem de uma máquina. São também apresentados os dois *softwares* que apoiam o departamento de manutenção no âmbito do registo de avarias e da verificação do tempo de produção da máquina. No final deste capítulo, é analisado o impacto interno da solução proposta, sendo também analisado o impacto externo da mesma, realizando para tal uma análise de PESTAL.

No capítulo 3, são apresentados os conceitos teóricos importantes para o trabalho.

No início do capítulo 4 é inicialmente proposta uma solução teórica para ir de encontro aos requisitos apresentados no capítulo 1. É, de seguida, realizado um planeamento prévio à implementação da solução proposta, onde se pretende identificar os parâmetros críticos do equipamento e detetar problemas ou pontos de melhoria. Seguidamente, é apresentado o *hardware* desenvolvido para a medição dos parâmetros pretendidos, sendo também explicado o seu funcionamento. O resto do capítulo pretende mostrar o funcionamento de todo o *software* desenvolvido e clarificar, em particular, a estrutura da plataforma *web* e apresentar o procedimento desenvolvido para deteção de padrões de avaria.

Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as considerações finais sobre o projeto desenvolvido e algumas propostas futuras para o respetivo projeto.



## 2 A Empresa

### 2.1 História da empresa

A OLI foi fundada a 1 de março de 1954, em Aveiro, dedicando-se ao comércio de materiais de agricultura e construção. Contudo, foi apenas em 1980 que iniciou a produção de autoclismos, sendo em 1981, que criou, devido ao aumento das necessidades do mercado, a sua primeira unidade industrial (OLI - Sistemas Sanitários, 2018).

A partir de 1993, a organização passou a integrar o grupo Fondital, que se encontra presente nos setores de aquecimento, fusão de alumínio, transporte e descarga de água e, na produção de produtos de galvanoplástico e termoplástico (Fondital Group, 2016).

De forma a garantir a qualidade na produção, montagem e prestação de serviços, a empresa obteve, em 1998, a certificação segundo a norma NP EN ISO 9002 e em 2000, conseguiu uma extensão da norma NP EN ISO 9001, desenvolvida para combinar as normas 9001, 9002 e 9003 fornecendo os requisitos para o sistema de gestão da qualidade das organizações. A certificação na área da gestão da investigação, desenvolvimento e inovação foi obtida pela OLI em 2010 através da norma NP 4457. Em 2013, a empresa obteve a certificação em Sistemas de Gestão Ambiental (NP EN ISO 14001) e em Segurança e Saúde no trabalho (NP 4397).

O ano de 2016 trouxe grandes mudanças, a fábrica de Aveiro foi ampliada e iniciou-se a construção de uma nova unidade industrial de moldes, a Moldaveiro. Iniciou-se ainda a produção na nova fábrica na Rússia e foi criada uma filial na Alemanha (OLI, 2016).

Atualmente, a empresa está presente em 70 países dos 5 continentes, sendo considerada a maior produtora de autoclismos da Europa do Sul. As instalações em Aveiro têm uma área total de 82 000 metros quadrados e contam com 380 colaboradores, assegurando uma produção semanal de 39 000 autoclismos e 159 000 mecanismos. (OLI, 2016).

### 2.2 Produtos

As instalações em Aveiro da empresa OLI produzem diferentes soluções de sistemas de instalação sanitária, como por exemplo, autoclismos interiores (Figura 2.1 (a)) e exteriores (Figura 2.1 (b)), módulos sanitários (Figura 2.1 (c)), placas de comando (Figura

2.1 (d)) e outros mecanismos que incluem torneiras de boia e válvulas de descarga (Figura 2.1 (e)).

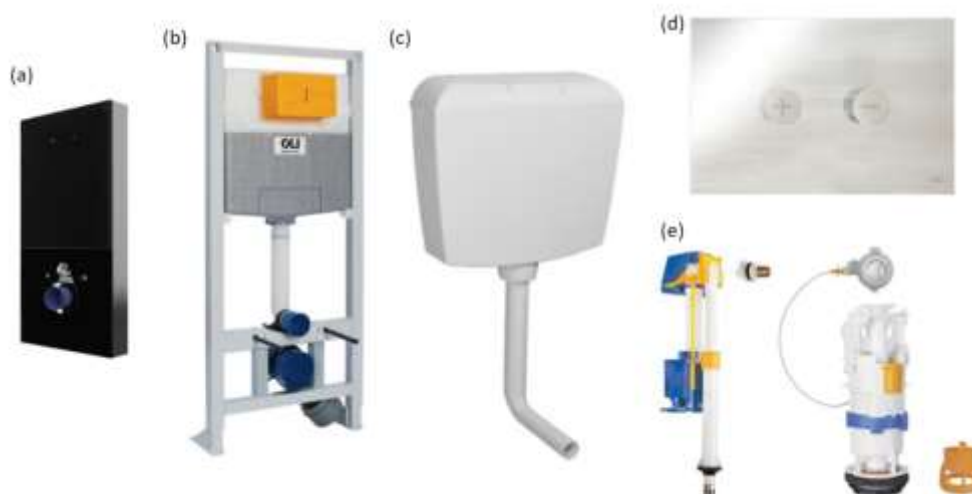


Figura 2.1 – Imagens ilustrativas dos produtos comercializados pela OLI.  
Fonte: (OLI, [s.d.]).

## 2.3 *Softwares* IFS e STAIN

A equipa de manutenção trabalha com o auxílio de dois *softwares* distintos: o IFS e o STAIN.

O IFS não é apenas utilizado no âmbito da manutenção, podendo auxiliar também a gestão dos restantes departamentos da empresa. A manutenção faz uso deste programa para criar, gerir e pesquisar ordens de trabalho e para encomendar peças ou outros materiais a fornecedores. As ordens de trabalho são documentos que descrevem problemas ou avarias da máquina identificando o técnico que procedeu à reparação, o processo de reparação e a sua duração. A duração da reparação, neste *software*, é medida pelo tempo que decorreu entre a criação da OT e o fecho da mesma.

O *software* STAIN é utilizado no controlo do estado das máquinas, ou seja, é utilizado para verificar se as máquinas se encontram em produção ou se estão paradas, e identificar de uma forma genérica a razão dessas paragens. Este programa permite que a manutenção obtenha o tempo de produção, os tempos de paragem, mais especificamente os tempos de paragem para reparação, o que permite à manutenção calcular os indicadores de desempenho do departamento e de cada máquina em particular.

No entanto, apesar das várias funcionalidades destes dois programas, notou-se que a sua utilização não é feita de forma correta. No caso do IFS, verificou-se que qualquer pessoa, sendo ou não técnico de manutenção procede à descrição da avaria, o que leva a inconsistências entre a avaria descrita e a real.

O STAIN, apesar de permitir verificar em tempo real o estado do equipamento, possui um número limitado de acessos, isto é, só podem aceder ao programa um determinado

número de pessoas de cada vez. Desta forma, o programa torna-se bastante lento e, por vezes, até se encontra inacessível. Além disso, como a justificação de paragens não é feita de forma rigorosa, muitas delas aparecem injustificadas estando, teoricamente, o equipamento parado sem nenhuma razão aparente.

### 2.3.1 Compreender o processo

Quando ocorre uma avaria de um equipamento é importante que os envolvidos no processo, tanto colaboradores como toda a equipa de manutenção, tenham conhecimento dos procedimentos a seguir, ou seja é necessário que este processo se encontre documentado e devidamente standardizado. Na OLI, quando se deteta a paragem de uma máquina, segue-se o processo representado no diagrama de atividades da Figura 2.2.

Quando uma máquina não inicia um novo ciclo de produção, após um determinado tempo, é ativado um alarme luminoso que avisa o colaborador do ocorrido. O colaborador analisa a situação verificando se a máquina ativou algum aviso na sua unidade de comando.

Após esta verificação, podem ser seguidos dois caminhos, o primeiro é seguido quando o colaborador consegue resolver o problema e o segundo é feito se o colaborador não possui as competências necessárias para resolver o problema. No primeiro caso, após o colaborador resolver o problema deve justificar o tempo de paragem da máquina, identificando a sua causa genérica (por exemplo, Avaria, Avaria de molde, fuga, entre outros), no *software* STAIN.

No segundo caso o colaborador deve reportar ao seu responsável o problema identificado, para que este possa abrir uma ordem de trabalho (OT) no *software* IFS, onde descreve a situação, e contactar a manutenção. Uma vez contactada a manutenção, uma equipa é chamada ao local para avaliar a situação e, se possível, resolver imediatamente o problema. Estando resolvido o problema, o técnico de manutenção envolvido na reparação deve indicar que a reparação foi realizada e fechar a OT, no *software* IFS, devendo ainda justificar a paragem no *software* STAIN.

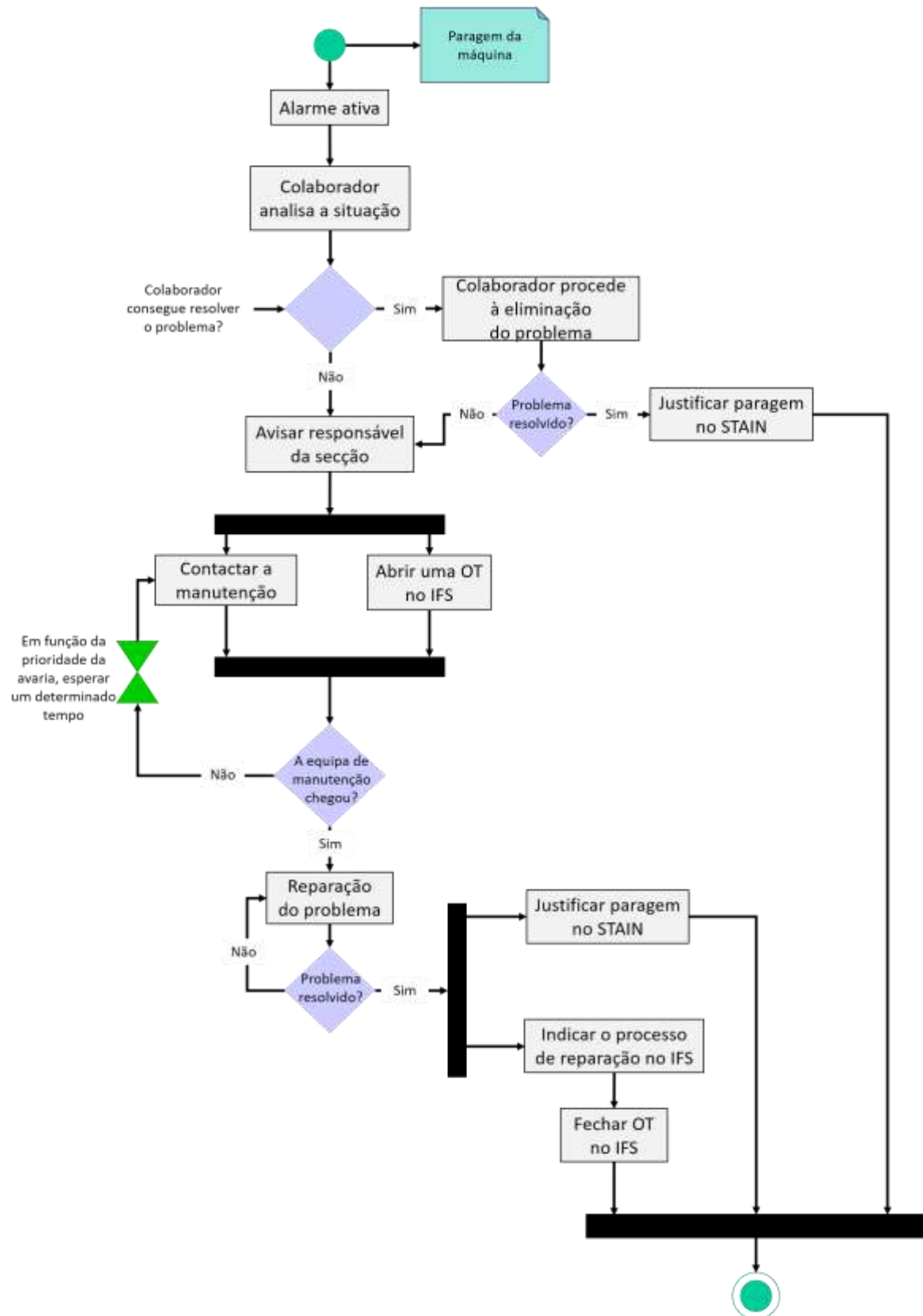


Figura 2.2— Diagrama de atividades (em UML) do processo de reação à paragem de uma máquina.



## 2.4 Analisar impacto interno da solução a desenvolver

Para analisar o impacto interno da solução proposta, é necessário averiguar qual o estado atual da empresa, determinando o impacto das avarias e de todas as complicações a elas associadas nos custos totais da empresa. Nesta perspetiva, foi feito o levantamento e o cálculo dos indicadores, Tempo médio de reparação (MTTR – Mean Time to Repair) e Tempo médio entre avarias (MTBF – Mean Time Between Failures), entre janeiro de 2016 e fevereiro de 2018, para a máquina utilizada no âmbito deste trabalho, obtendo-se os valores expostos na Tabela A.1 do Apêndice A.

De forma a avaliar o impacto de uma avaria, devem ser considerados os custos de não produção, os custos associados à paragem da máquina e do operador da mesma e ainda o custo do técnico de manutenção que irá proceder à reparação. Os referidos custos encontram-se expostos na Tabela 2.1, com exceção do custo de não produção pois este não foi fornecido pela empresa.

Note-se também que o custo, por hora, do técnico de manutenção não foi cedido pela empresa, em consequência da política de proteção de dados, sendo o valor apresentado obtido a partir da plataforma *web* JobTonic (JobTonic, [s.d.]).

Tabela 2.1 – Custos associados à manutenção.

|                                     | <b>Custo</b> | <b>SI</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------|
| Máquina (Parada)                    | 8,81         | €/h       |
| Operador (Parado)                   | 2,278        |           |
| Técnico de Manutenção (a trabalhar) | 4,264        |           |
| Total                               | 15,352       |           |

Tendo como base os valores acima fornecidos, e apoiados no artigo de Almeida (2016), prevê-se um conjunto de benefícios financeiros (Tabela 2.2) para a organização após a implementação da solução a desenvolver.

Tabela 2.2 – Benefícios financeiros após a aplicação de uma filosofia de manutenção preditiva.

| <b>Benefício</b>                               | <b>Percentagem</b> |
|--|--------------------|
| Aumento dos lucros                             | 25 a 60%           |
| Aumento da produtividade                       | 20 a 30%           |
| Redução dos custos de manutenção               | 50 a 80%           |
| Redução de avarias dos equipamentos            | 50 a 60%           |
| Redução de tempo de equipamentos parados       | 50 a 80%           |
| Aumento do tempo de vida útil dos equipamentos | 20 a 40%           |
| Redução de horas extra da manutenção           | 20 a 50%           |
| Redução do stock da manutenção                 | 20 a 30%           |

Para além de todos os benefícios anteriormente propostos, note-se que a solução a desenvolver também permitirá calcular os indicadores de desempenho de uma forma automática. Isto tem impacto na organização, na medida em que, todos os meses, um engenheiro (formação – mestrado) da equipa de manutenção realiza, manualmente, os cálculos para obter os respetivos indicadores. Desta forma, ocupa cinco horas do seu dia de trabalho (equivalente a uma manhã de trabalho), o que, considerando que este recebe em

média, segundo Reis e Esteves (2017), 1762€/mês, equivale um custo de 50€/mês só para calcular indicadores.

## 2.5 Analisar impacto externo da solução a desenvolver

Devido à crescente competitividade e às rápidas alterações do mercado, é crucial que uma organização conheça quais as ameaças e oportunidades que o mercado atual apresenta. Com o intuito de avaliar, analisar e monitorizar os fatores externos do mercado que têm impacto na organização, as equipas de gestão, recorrem à Análise de PESTAL, para realizar a avaliação dos fatores políticos, económicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais (Pestle Analysis, [s.d.]).

Nesse sentido, recorreu-se a este tipo de análise para avaliar a situação atual do mercado, de forma a descobrir as tendências do mesmo. Numa primeira fase, procedeu-se a uma análise simplificada do mercado, de forma a definir as tendências de mudança na estrutura do mercado e consequentes necessidades de mudança na postura da empresa. A análise de PESTAL foi realizada para três fatores dos apresentados anteriormente: fatores tecnológicos, ambientais e legais. Não foram considerados os impactos políticos, económicos e sociais por não se considerarem relevantes para este trabalho. A análise realizada é apresentada no Apêndice B.

Os fatores tecnológicos englobam todas as inovações e mudanças tecnológicas com impacto na atividade empresarial (Pestle Analysis, [s.d.]). A nível tecnológico nota-se que o mercado está, gradualmente, a focar-se no conceito da indústria 4.0. Neste cenário, as empresas apostam na interoperabilidade entre equipamentos e produtos, que se encontram ligados através de uma rede global (*Internet of Things* - IoT) e na automação. O nível de exigência dos clientes vai aumentado progressivamente, o que no futuro implica maiores níveis de qualidade a um custo mais reduzido, produtos altamente customizados e menores prazos de entrega (Kagermann, Wahlster e Helbig, 2013).

Por fatores ambientais, consideram-se as mais recentes preocupações a nível ambiental que afetam o mundo (Pestle Analysis, [s.d.]). Assim, em termos ambientais a tendência do mercado é apostar num desenvolvimento sustentável. Dessa forma, a procura por soluções produtivas mais eficientes e a utilização de materiais obtidos de recursos renováveis é imperativa. Sendo a indústria o setor que mais contribui para as emissões de gases de efeito de estufa (Edenhofer *et al.*, 2014), serão aplicadas novas regulamentações com limites para a emissão desses poluentes e cuja tendência a longo prazo, é serem cada vez mais estreitos (Kagermann, Wahlster e Helbig, 2013).

Os fatores legais envolvem futuras leis que afetam o ambiente organizacional (Pestle Analysis, [s.d.]). Uma das mudanças a operar no mercado, com a introdução da indústria 4.0, levará à criação de novas leis que protejam os dados obtidos nas instalações fabris, isto é, estando os equipamentos e os produtos ligados à IoT é necessário proteger os dados recolhidos, o que envolve a introdução de um sistema de segurança melhorado e à criação de novas leis no que toca à proteção de dados a nível empresarial (Kagermann, Wahlster e Helbig, 2013).

Uma vez detetadas as tendências do mercado, determinaram-se as mudanças que deverão ocorrer na estrutura da empresa, para ir ao encontro das tendências do mesmo, a performance esperada com a implementação das referidas mudanças, e o contributo da plataforma que se pretende desenvolver no âmbito do trabalho para a performance esperada.

O diagrama apresentado na Figura 2.3 expõe, de que forma a plataforma a desenvolver contribui para alcançar a performance desejada e assim permitir à empresa manter-se competitiva apesar das constantes mudanças do mercado.

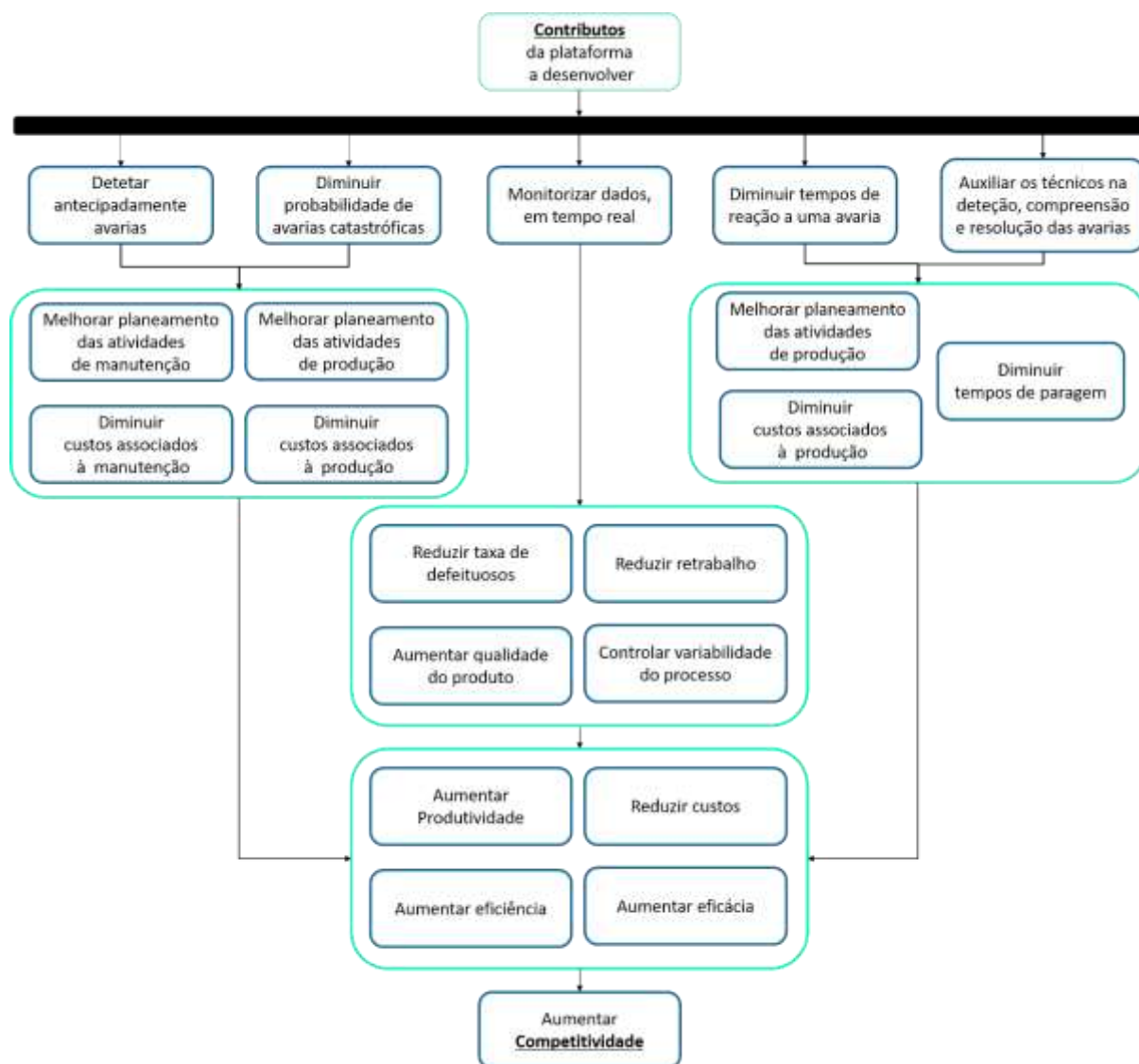


Figura 2.3 – Diagrama dos contributos da plataforma a desenvolver para alcançar a performance desejada.



## 3 Enquadramento teórico

### 3.1 Processo de injeção de termoplásticos

Atualmente, a produção de componentes pelo processo de moldação por injeção é o processo industrial mais utilizado para a produção de peças em material termoplástico. Este processo, além de ser altamente eficiente, permite produzir peças com tolerâncias apertadas e formas complexas. Para além disso, apresenta ciclos de produção curtos e uma excelente qualidade superficial nas peças obtidas (Agrawal, Pandelidis e Pecht, 1987; Farouq *et al.*, 2005; Kurt *et al.*, 2009; Liu, Su e Lin, 2009).

Sendo dos processos mais utilizados na indústria, a sua otimização é imperativa face à crescente competitividade do mercado que exige menores custos e tempos de produção, mantendo, ao mesmo tempo, a elevada qualidade do produto final (Kurt *et al.*, 2009).

#### 3.1.1 Constituição de uma máquina de moldação por injeção

Segundo Pouzada e Cunha (1998), uma máquina de injeção por moldação é composta por quatro unidades principais: a unidade de plasticização, a unidade de fecho, a unidade de potência e a unidade de comando. Na Figura 3.1, é apresentada uma máquina típica de injeção por moldação, onde se podem visualizar as várias unidades referidas e alguns dos seus constituintes.

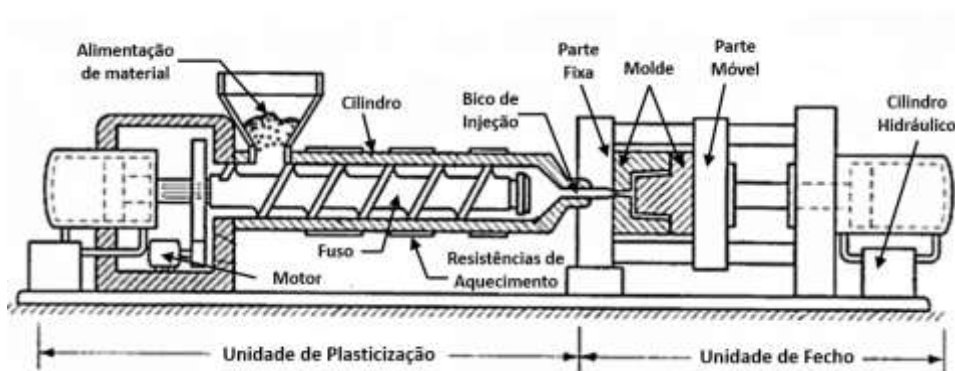


Figura 3.1 – Máquina de moldação por injeção e os seus componentes principais.

Fonte: Sinotech ([s.d.]).

A unidade de plasticização é responsável pelo transporte do polímero ao longo do cilindro e pelo seu aquecimento por resistências ao longo do mesmo. O movimento axial do fuso permite que este viabilize o aumento da pressão necessária ao processo de injeção e a posterior plasticização do polímero fundido.

A fixação, o movimento e o fecho do molde, são assegurados pela unidade de fecho. Esta impede que o molde se abra durante a injeção de material para dentro deste, sendo responsável por o fixar à máquina, recorrendo a uns pratos porta moldes, e pelo seu deslizamento durante a abertura e fecho, através de colunas-guia.

A energia necessária ao funcionamento dos vários atuadores da máquina (cilindros e motores hidráulicos) é obtida pelo motor elétrico que integra a unidade de potência. Esta é ainda composta por um permutador de calor, cuja função é arrefecer o óleo usado nos vários sistemas hidráulicos.

Por último, a unidade de comando garante a monitorização e controlo das variáveis de processo, estabelecendo uma interface entre o operador e a máquina em tempo real.

### 3.1.2 Processo de moldação por injeção

O processo de moldação por injeção é cíclico e, de acordo com Pouzada e Cunha (1998), compreende oito fases como ilustrado na Figura 3.2.

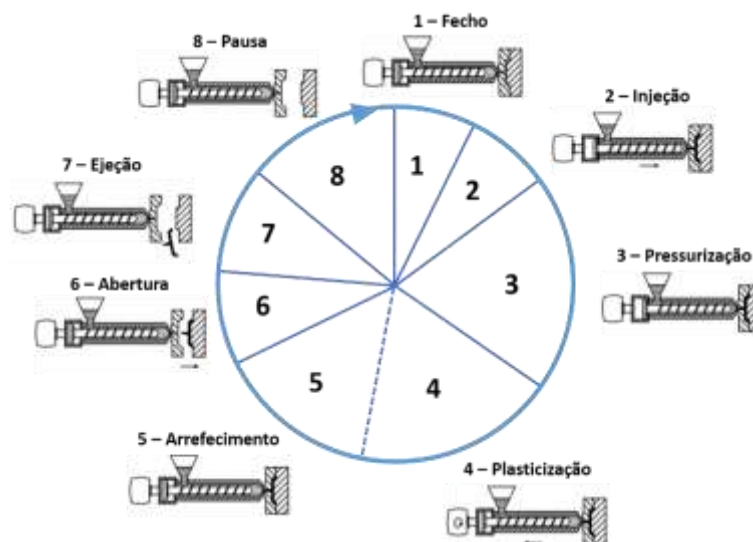


Figura 3.2 – Ciclo do processo de moldação por injeção.

Fonte: Imagem adaptada de Pouzada e Cunha (1998).

Inicialmente, o molde encontra-se fechado e o material termoplástico está sob a forma de um granulado, que é gradualmente dispensado para o interior do cilindro. Este último possui, ao longo do seu comprimento, uma manta de aquecimento, composta por resistências que vão fundindo o polímero à medida que este avança pelo cilindro, por intermédio do movimento de rotação do fuso. Estando o material fundido, ocorre a sua injeção para a cavidade do molde, completando a fase de injeção.

Apesar de o molde estar preenchido, o fuso continua a avançar, entrando mais material na cavidade, o que aumenta a pressão que o fluido exerce no molde. A adição de uma maior quantidade de polímero, na fase de pressurização, permite compensar a contração dimensional que é causada pela diferença de densidades entre o polímero plasticizado e o polímero fundido. Após a entrada do material adicional, o polímero dentro da cavidade do molde é mantido a uma pressão constante enquanto arrefece até que o material na região do

ponto de injeção solidifique totalmente. Seguidamente, o fuso começa a movimentar-se para trás, plastificando o polímero que será utilizado no próximo ciclo de moldação. Este último parágrafo constitui a fase de plasticização.

A fase de arrefecimento tem início na altura em que o material termoplástico entra em contacto com as paredes do molde, durante a fase de injeção, e só termina quando a peça possui rigidez suficiente para manter a sua forma final. Durante esta fase, verifica-se uma diminuição da pressão e, uma vez atingida a rigidez necessária, sucede-se a abertura do molde - fase de abertura - e, posteriormente, a extração da peça moldada com extratores - fase de ejeção. Antes de se iniciar um novo ciclo de moldação, dá-se um tempo de pausa, como é mostrado na figura anterior.

### 3.1.3 Variáveis do processo

Atualmente, uma qualidade elevada do produto final é de extrema importância, tornando crítico o controlo e a monitorização das variáveis do processo. Uma alteração destas variáveis pode causar defeitos dimensionais, defeitos internos e defeitos superficiais na peça produzida (Pouzada e Cunha, 1998).

Segundo De Blasio (2007), as variáveis de processo de injeção estão dependentes das características do material, são afetadas pelo *design* do molde e dependem das características da máquina injetora. Desta forma, o autor considera que as principais variáveis que afetam o resultado final da injeção são a dosagem de material, a temperatura e homogeneidade do polímero fundido, homogeneidade da temperatura do fluido refrigerante, a velocidade e a pressão de injeção, a pressão e tempo de manutenção, a contrapressão e o tempo de arrefecimento.

Numa mesma perspetiva, Pouzada e Cunha (1998) salienta que, na sua opinião, as variáveis de processo a serem monitorizadas e controladas incluem a velocidade e a pressão de injeção, a pressão de manutenção, o perfil de temperaturas no cilindro, a temperatura do molde, a contrapressão, a velocidade de rotação do fuso e, por último, a velocidade de movimentação do sistema de fecho.

Na sua dissertação, Bareta (2007) define quais as variáveis do processo mais estudadas na moldação por injeção. Entre estas, têm-se a temperatura, pressão e velocidade de injeção, a pressão de manutenção, a temperatura do molde, a força de fecho e os tempos de manutenção e de arrefecimento.

Wong *et al.* (2008) afirmam que as variáveis do processo com maior impacto são a pressão e a temperatura de injeção e as mesmas no interior da cavidade do molde.

Analisando as escolhas dos vários autores anteriormente citados (Bareta, 2007; Blasio, 2007; Pouzada e Cunha, 1998; Wong, Fung e Gao, 2008), conclui-se que, para garantir a qualidade do processo, monitorizar a pressão e a temperatura de injeção e os perfis de pressão e de temperatura na cavidade do molde é imprescindível.

Para uma compreensão clara das variáveis acima mencionadas, são apresentados os seus conceitos (Bareta, 2007; Pouzada e Cunha, 1998):



- **Temperatura de injeção:** temperatura à qual deve ser injetado o material, aquando o início do processo de injeção;
- **Pressão de injeção:** pressão que a máquina deve exercer sobre o material na injeção;
- **Pressão de manutenção:** pressão aplicada após o preenchimento do molde e cujo objetivo é compensar a contração do material que resulta do seu arrefecimento;
- **Contrapressão:** pressão que, durante a fase de plasticização, contraria o recuo do fuso;
- **Perfil de temperaturas do cilindro:** variação da temperatura ao longo do comprimento do cilindro;
- **Velocidade de injeção:** velocidade a que a máquina injeta o material na cavidade do molde;
- **Força de fecho:** força necessária para manter o molde fechado durante a injeção;
- **Tempo de arrefecimento:** tempo que decorre, desde que o fundido toca nas paredes do molde, até a extração da peça;
- **Tempo de manutenção:** tempo em que o fuso exerce a pressão de manutenção.
- **Pressão da cavidade do molde:** variação da pressão no interior do molde, desde que o polímero fundido entra no molde, até que a peça final é extraída. Esta variável inclui a pressão de manutenção, apresentada anteriormente.
- **Temperatura da cavidade do molde:** variação da temperatura no interior do molde, desde que o polímero fundido entra no molde, até a peça final é extraída.

#### 3.1.3.1 Pressão no interior da cavidade e pressão de injeção

A pressão da cavidade, como foi definida anteriormente, compreende as variações de pressão exercidas pelo polímero no molde, desde a fase de injeção, até ao final da fase de arrefecimento. Por outro lado, a pressão de injeção consiste na pressão exercida para injetar o fundido no molde.

O perfil de pressão na cavidade do molde influencia a massa, a estabilidade dimensional, o comportamento mecânico e a qualidade superficial das peças moldadas. Conseguir repetir o perfil de pressão ideal em todos os ciclos de moldação, resulta na obtenção de produtos de elevada qualidade e num maior controlo de todo o processo de injeção (Huang, 2007). Agrawal *et al.* (1987) afirmam que ao controlar as pressões na cavidade e a pressão de injeção, torna-se mais fácil evitar ou mesmo eliminar problemas como rechupes na superfície da peça final e rebarbas.

#### 3.1.3.2 Temperatura no interior da cavidade e temperatura de injeção

Manero (1996) considera o perfil de temperatura do fundido, quando este se encontra dentro da cavidade, uma das variáveis mais importantes para o processo de injeção. Afirma também, que esta variável afeta a qualidade do produto e o custo da operação. Reafirmando a opinião de Manero (1996), os autores Postawa e Koszkul (2005) testaram a influência de algumas variáveis do processo na contração do material e no peso da peça final, concluindo que, em alguns polímeros, a contração das peças depende, essencialmente, da temperatura do molde e da temperatura de injeção. Confirmou-se ainda, para os vários materiais testados, a importância do impacto da temperatura de injeção na qualidade do produto final.



Segundo Lui *et al.* (2009) estas variáveis são capazes de influenciar não só a qualidade dos produtos, como também o tempo de ciclo, o fluxo de material fundido e a taxa de cristalização. Assim sendo, para se otimizar o processo de moldação, manter a qualidade dos produtos e reduzir os custos de operação é necessário conhecer, em qualquer altura, o perfil exato das temperaturas dentro do molde e a temperatura de injeção.

### **3.1.4 Defeitos no processo de moldação por injeção de termoplásticos**

Como referido anteriormente, as variáveis de processo estão internamente ligadas à qualidade dos produtos finais. Alterações nestas variáveis podem causar diversos defeitos. Seguidamente, serão apresentados alguns dos defeitos referidos nas seções anteriores e que podem ocorrer em peças plásticas obtidas por injeção.

#### **Empenamento e peso excessivo**

O empenamento é causado pela contração desigual do material em diferentes regiões da peça. Segundo Mascarenhas *et al.* (2005), as causas deste fenómeno estão associadas à orientação, ao arrefecimento inadequado da peça, a contrações volumétricas não uniformes e à dilatação térmica diferenciada.

Para Postawa e Koszkuł (2005), a obtenção de peças com contrações e peso excessivo está dependente do tipo de material usado na injeção. Se o material é amorfo, a temperatura de injeção, a temperatura do molde e a pressão de fecho são os principais responsáveis por alterações. No caso de materiais parcialmente cristalinos, os parâmetros com maior influência são a pressão de fecho e a temperatura de injeção.

#### **Rechupe**

Este defeito ocorre em zonas com variações de espessura da parede do molde consideráveis, sendo causado pelo lento arrefecimento do fundido que, consequentemente, origina contrações não uniformes no material.

Uma das formas de eliminar rechupes consiste no aumento da pressão de manutenção ou do tempo de manutenção, desta forma o material que se encontra à superfície possui mais tempo para arrefecer (Knack, 2015; Mascarenhas, Ahrens e Ogliari, 2005).

#### **Rebarbas**

A rebarba é constituída por material que entra no espaço entre as duas partes do molde, parte fixa e parte móvel, e aí solidifica agarrado ao componente. A existência de rebarba afeta a qualidade do produto e, por essa razão, deve ser removida. Contudo, a remoção deste defeito tem um impacto no tempo e custo de produção (Mascarenhas, Ahrens e Ogliari, 2005).

Segundo Mascarenhas *et al.* (2005) este defeito pode ser causado por:

- Desgaste do molde;
- Desalinhamento das duas partes do molde;

- Força de fecho insuficiente;
- Excesso de material;
- Obstruções da placa;
- Posição inadequada do ponto de injeção.

Para resolver este problema deve garantir-se o alinhamento das partes dos moldes e o aumento da pressão de fecho do molde, para evitar a criação de um espaço entre as duas partes do molde. Pode ainda reduzir-se a temperatura do molde, a pressão de manutenção e a pressão de injeção (Knack, 2015; Mascarenhas, Ahrens e Ogliari, 2005).

### 3.1.5 Sensores e sistemas de aquisição de dados na Indústria

Dunn (2006) define controlo de processo como “*The technology of controlling a series of events to transform a material into a desired end product.*” Inicialmente, o controlo e a monitorização dos processos eram levados a cabo pelos próprios operadores, através da utilização dos diferentes sentidos, o que tornava todo o processo subjetivo e totalmente dependente do operador (Dunn, 2006).

Contudo, a crescente competitividade do mercado, obriga a adotar formas mais precisas e consistentes de controlar a qualidade dos produtos, o que impulsiona o desenvolvimento dos sistemas de controlo de processo, com o intuito de os tornar mais precisos, consistentes e capazes de monitorizar diferentes parâmetros. A introdução dos controlos computadorizados, da automação e a elevada variedade de instrumentos de medição, veio permitir um controlo mais apertado e económico dos processos, conseguindo-se produzir peças com pequenas tolerâncias e elevada qualidade (Dunn, 2006).

Como instrumentos de medição dos parâmetros de interesse, são utilizados sensores ou transdutores. Um sensor é um elemento básico que converte uma grandeza física num sinal elétrico. Por outro lado, um transdutor é um sensor completamente equipado com condicionamento de sinal compensado e calibrado. Estes dois instrumentos funcionam como uma interface entre o mundo real e o sistema de aquisição de dados, convertendo os parâmetros do processo (pressões, temperaturas, velocidades, forças, entre outros), em sinais elétricos, segundo uma relação predefinida. Note-se que os sinais elétricos obtidos devem ser passíveis de ser guardados e reconhecidos pelo sistema de aquisição de dados (Park e Mackay, 2003). Quando se escolhe o tipo de sensor ou transdutor a utilizar, devem ter-se em conta os seguintes parâmetros (Park e Mackay, 2003):

- **Custo;**
- **Variável a medir** (pressão, temperatura, etc.);
- **Exatidão:** define quão perto o valor medido pelo instrumento se encontra do valor real, ou seja, é o erro máximo que se pode esperar numa medição;
- **Sensibilidade:** definida como o valor mínimo que a variável de entrada deve possuir, para que seja detetada uma variação na saída;
- **Precisão:** capacidade de um sensor gerar a mesma resposta na saída para uma mesma variável de entrada;
- **Faixa de operação:** determinada pelos valores, máximo e mínimo, da variável que podem ser medidos.

Para o presente trabalho, os parâmetros de interesse são as temperaturas e pressões da cavidade do molde e de injeção. Deste modo serão apresentados, seguidamente, os tipos de sensores mais utilizados, segundo a literatura, para obter os valores das temperaturas e pressões referidas no parágrafo anterior.

#### 3.1.5.1 Sensores de Temperatura

Segundo Manero (1996), existem duas formas para se proceder à medição da temperatura:

- **Medição indireta:** é um tipo de medição não intrusiva, onde são usadas propriedades que se relacionam com a temperatura, como por exemplo a emissão de radiação eletromagnética. Sensores ultrassónicos e de infravermelhos são exemplos de sensores de medição indireta.
- **Medição direta:** neste tipo de medição, o sensor está em contacto com o “objeto” a que se pretende medir a temperatura, sendo por isso uma medição intrusiva. O sinal transmitido pelo sensor é proporcional ao valor da temperatura medida. O termopar é um exemplo de um sensor de medição direta.

#### Termopares

O termopar é um sensor constituído por dois fios de diferentes materiais, ligados termicamente numa ponta e eletricamente na outra. As duas junções são mantidas a temperaturas diferentes, criando uma tensão elétrica tanto maior quanto maior o valor da temperatura (Manero, 1996; Park e Mackay, 2003).

Em comparação com outros tipos de sensores de temperatura, os termopares possuem a vantagem de ter uma excelente faixa de operação, conseguindo operar entre temperaturas extremamente baixas e extremamente elevadas. Para além disso, são de fácil calibração e possuem um custo reduzido. Contudo, além de possuírem um tempo de resposta lento são sensores intrusivos, pois realizam uma medição direta da temperatura (Manero, 1996).

Este tipo de sensores é bastante utilizado para a obtenção de temperaturas no processo de injeção, como é o caso da medição da temperatura de injeção e do perfil de temperaturas na cavidade do molde.

De forma a comprovar este facto, são apresentados de seguida alguns trabalhos onde foram utilizados termopares para medir os parâmetros referidos. Liu *et al.* (2009) desenvolveram um dispositivo para medir a temperatura dentro da cavidade do molde, durante o processo de moldação. O dispositivo referido é constituído por agulhas tubulares que guiam os termopares tipo K usados para a medição. Da mesma forma, Farouq *et al.* (2005) construíram um dispositivo de tipo tubular usando, um micro termopar, concluindo no final que o sensor desenvolvido possuía baixa interferência na medição da temperatura da cavidade, durante a maior parte do ciclo de moldação.

#### 3.1.5.2 Sensores de Pressão

De acordo com Ripka e Tipek (2007), a pressão pode ser medida de maneiras distintas:

- **Medição absoluta:** a pressão é medida em relação ao vácuo;

- **Medição manométrica:** a pressão mede-se em relação à pressão atmosférica;
- **Medição diferencial:** a pressão é medida em relação à pressão de outro ponto.

A medição direta da pressão não é fácil e a sensibilidade e a performance atingidas são muito baixas. Por esta razão, a maior parte dos sensores de pressão são sensores compostos, ou seja, transdutores (Figura 3.3)



Figura 3.3 – Funcionamento de um transdutor.  
Fonte: Imagem adaptada de Ripka e Típek (2007).

O elemento sensível converte o valor da pressão medida (primeira medição), num deslocamento, força ou tensão (medição secundária), sendo essa depois convertida por um outro sensor, num sinal elétrico proporcional ao valor de pressão medido inicialmente (Ripka e Típek, 2007).

### 3.1.5.3 Sistema de aquisição de dados

Os sistemas de aquisição de dados tornam possível a monitorização e o controlo dos processos industriais, contribuindo para a melhoria contínua na qualidade dos processos e dos produtos finais.

Segundo Park e Mackay (2003) e Serrano *et al.* (2004), a aquisição de dados realizada com o auxílio de computadores, é o processo pelo qual os fenómenos físicos reais são convertidos, primeiramente, em sinais elétricos e, de seguida, em sinais digitais. Os sinais digitais, após adquiridos são processados, analisados e armazenados. Na Figura 3.4 é apresentado um diagrama representativo de um sistema de aquisição de dados.

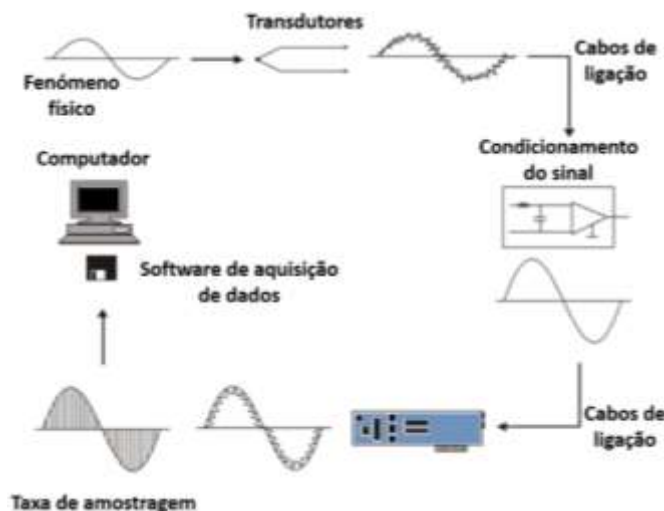


Figura 3.4 – Diagrama representativa do processo de aquisição de dados.  
Fonte: Imagem adaptada de Park e Mackay (2003).

Para um entendimento mais claro do funcionamento do processo de aquisição de dados são, de seguida, apresentados e explicados os seus principais constituintes (Park e Mackay, 2003).

- **Sensores e transdutores:** responsáveis por converter o fenómeno físico de interesse num sinal elétrico.
- **Cabos de ligação:** constituem a ligação física entre os sensores/transdutores e o condicionador de sinal e a ligação física entre o condicionador de sinal e o equipamento de aquisição de dados.
- **Condicionamento do sinal:** normalmente, os sinais gerados por transdutores precisam ser transformados de forma a serem compatíveis com o sistema de aquisição de dados. O processo de conversão dos sinais designa-se de condicionamento do sinal e envolve as seguintes fases:
  - **Filtragem:** remoção do ruído do sinal recebido pelo sensor;
  - **Amplificação:** tendo sido eliminado o ruído, o sinal deve ser amplificado, tendo em consideração a faixa de operação do conversor analógico-digital. Ao amplificar-se o sinal, aumenta-se a sua sensibilidade à medição;
  - **Linearização:** quando os sensores não apresentam uma relação linear com a grandeza física que medem, procede-se à linearização do sinal. Esta pode ser feita através do condicionamento do sinal ou por *software*;
  - **Isolamento:** permite proteger o equipamento e os operadores de picos de alta tensão, através do isolamento entre o sensor/transdutor e o computador;
  - **Excitação:** necessária quando os transdutores precisam de uma corrente ou tensão externa.
- **Equipamento para aquisição de dados:** responsável pelo envio e receção de sinais, com a finalidade de monitorizar e controlar um processo ou um sistema. Este equipamento deve realizar as seguintes funções:
  - Processamento e conversão de sinais analógicos em digitais;
  - Entrada de sinais digitais, que contêm informação acerca de um processo ou sistema;
  - Processamento e conversão de sinais digitais, vindos do computador, em sinais analógicos que são utilizados no controlo de processos ou sistemas;
  - Saída de sinais digitais de controlo.
- **Computador:** possui um impacto direto na velocidade de aquisição, processamento e armazenamento de dados.
- **Software para aquisição de dados:** possibilita que o equipamento de aquisição de dados realize o tratamento dos dados e cria uma interface entre o sistema de controlo e o operador.

### 3.2 A Manutenção

A norma europeia EN 13306:2010 define a manutenção como sendo a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, com o objetivo de o manter ou reparar, de forma, a que este consiga realizar a função requerida”.

O aumento da mecanização e da automação, despoletado pelo novo clima de excessiva competitividade, tornou a indústria dependente da tecnologia, o que salienta a necessidade da implementação de políticas de manutenção eficientes, uma vez que, nesta situação, uma avaria acarreta graves consequências.

### **3.2.1 Evolução histórica da Manutenção**

Ao longo dos anos, a maneira como as organizações vêm a manutenção, altera consoante o contexto tecnológico e económico. Segundo Mortelari *et al.* (2011) ao longo da história a manutenção passou por quatro gerações.

A primeira geração da manutenção é caracterizada pela reduzida mecanização, pela fácil montagem/desmontagem dos equipamentos e pelo sobredimensionamento dos vários constituintes das máquinas, o que tornava a manutenção numa atividade de pouca importância para o funcionamento da instalação. Nesta altura, a prevenção de falhas nos equipamentos não era realizada, possuindo a manutenção um carácter corretivo (Corrêa, 2012; Santos, 2013).

A segunda geração é marcada pelo clima pós-guerra que traz uma diminuição na oferta de mão-de-obra e um aumento da procura de todos os tipos de bens. Consequentemente, e com o intuito de manter a qualidade dos produtos, as empresas começaram a depender, amplamente, das máquinas. Assim, de cada vez que ocorria uma avaria a produção estacava. Face a isto, as organizações adotaram uma manutenção de carácter preventivo (Corrêa, 2012; Santos, 2013).

A maior consciência ambiental, a crescente necessidade por produtos de maior qualidade e a procura de melhores relações custo-benefício conduziram a alterações na manutenção resultando, tudo isto, na terceira geração da manutenção. Nesta geração surgem novas metodologias de gestão da manutenção, como é o caso da manutenção baseada na monitorização das condições dos equipamentos (Corrêa, 2012; Santos, 2013).

Desde 2000 que a manutenção se encontra na sua quarta geração, sendo, agora, vista como um meio para reduzir os custos das organizações através do aumento da fiabilidade dos equipamentos. A utilização dos dados resultantes da monitorização das condições do equipamento, e o processamento desses conjuntos de dados por técnicas de inteligência artificial conduziram a uma optimização das técnicas de manutenção preditiva. (Corrêa, 2012; Lopes, Pires e Bastos, 2010; Santos, 2013).

### **3.2.2 Tipos de Manutenção**

De acordo com a literatura (Faria, 2013; Pinto, 2013; Santos, 2013), existem duas grandes categorias da manutenção, sendo elas a manutenção reativa e a manutenção proativa. A manutenção reativa envolve a reparação do equipamento após a avaria, podendo esta manutenção ser ou não planeada. Contrariamente, na manutenção proativa procede-se à reparação antes que ocorra a avaria. Este tipo de manutenção envolve a manutenção preditiva e a preventiva. Na Figura 3.5 são apresentados os vários tipos de manutenção existentes.

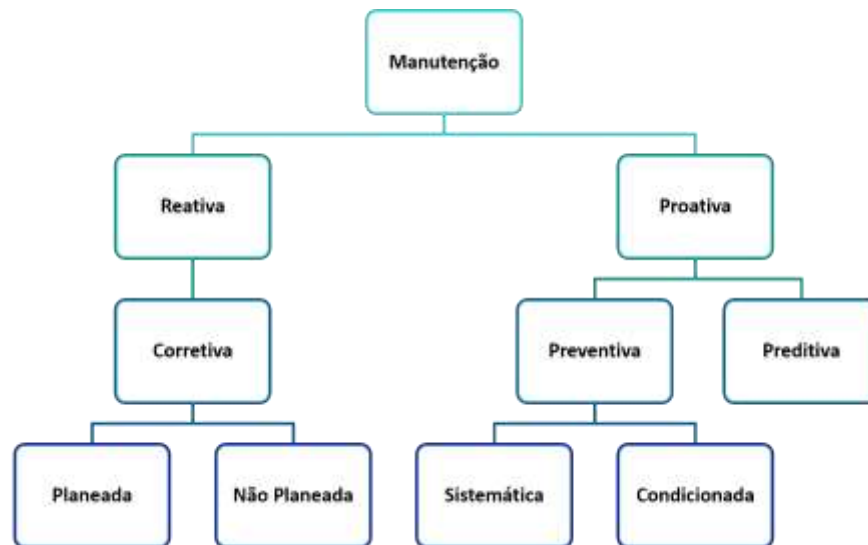


Figura 3.5 – Vários tipos de manutenção.  
Fonte: Imagem adaptada de Faria (2013).

### 3.2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva pode dividir-se em dois tipos:

- **Manutenção corretiva não planeada (MCNP);**
- **Manutenção corretiva planeada (MCP).**

A MCNP ocorre após a falha ou avaria do equipamento, sendo que até esse momento, o equipamento encontra-se a funcionar normalmente. Neste tipo de manutenção, não existe qualquer planeamento prévio da manutenção, uma vez que as falhas dos equipamentos ocorrem sem qualquer aviso (Faria, 2013; Lopes, Pires e Bastos, 2010; Pinto, 2013).

Esta técnica é de fácil implementação, não requerendo grandes esforços de organização e planeamento o que, conseqüentemente, diminui os custos indiretos da manutenção como por exemplo, custos associados a *softwares* de gestão ou de registo de histórico e custos associados às atividades de gestão, organização e planeamento da manutenção (Pinto, 2013). No entanto, a aposta numa filosofia de MCNP acarreta grandes desvantagens para as organizações, como por exemplo (Faria, 2013; Lopes, Pires e Bastos, 2010; Pinto, 2013):

- Aumento dos custos de produção, devido à necessidade de parar de forma não planeada;
- Perdas de produção significativas;
- Atrasos nas entregas ao cliente;
- Aumento do número de produtos com defeito;
- Diminuição do tempo de vida útil dos equipamentos;
- Redução da segurança dos utilizadores do equipamento e aumento do risco de acidente.

Por outro lado, a MCP é utilizada para implementar melhorias nos equipamentos (melhorar desempenho, segurança, manutibilidade, entre outros), para corrigir erros existentes desde a conceção ou instalação do equipamento, para adaptar o equipamento a novas funções e finalmente, para reparar causas que provoquem determinadas avarias (Faria,



2013; Pinto, 2013). Segundo Pinto (2013), ainda que se invista na MCP, haverá sempre necessidade de recorrer à MCNP devido a falhas ou avarias imprevistas, contudo, o mesmo autor realça que só se deve investir na MCP quando esta não resultar num aumento dos custos totais de manutenção.

### 3.2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem como principal objetivo a prevenção de possíveis avarias antes da sua ocorrência. Esta prevenção pode ser efetuada segundo intervalos de tempo constantes e previamente estabelecidos ou com base na monitorização e análise de parâmetros representativos do estado do equipamento. Por conseguinte, a manutenção preventiva divide-se em dois modelos:

- **Manutenção preventiva sistemática (MPS):** manutenção baseada no tempo;
- **Manutenção condicionada (MC):** manutenção baseada na condição.

A MPS consiste na realização de operações de manutenção em intervalos de tempo contantes e pré-determinados, com o intuito de reparar possíveis avarias (Faria, 2013; Pinto, 2013; Santos, 2013). Segundo Pinto (2013), para determinar a altura ideal de cada operação de manutenção, este tipo de filosofia estuda a fiabilidade dos componentes do equipamento, analisa a probabilidade de ocorrência de avarias em função do uso e do desgaste, e estuda os registos de avarias do equipamento. Pinto (2013) salienta algumas vantagens deste tipo de manutenção, como por exemplo:

- Prevenção de avarias;
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos devido à existência de menos paragens;
- Melhor organização dos recursos da manutenção, o que diminui os custos que lhe estão associados;
- Redução das perdas de produção devido ao menor número de paragens não planeadas;
- Redução dos atrasos nas entregas aos clientes;
- Diminuição do risco de acidente, aumentando a segurança dos colaboradores.

Na MPS, parte-se do princípio que existe uma relação entre a perda de fiabilidade e o tempo de funcionamento, que os padrões de avaria são constantes e que as ações de manutenção realizadas repõem a fiabilidade dos equipamentos. Infelizmente, estes princípios e suposições encontram-se incorretos, o que leva a que este tipo de manutenção seja considerada ineficiente (Pinto, 2013).

É importante salientar que a técnica MPS não recorre nem à monitorização nem à análise do estado atual do equipamento e dos seus componentes, consequentemente, podem ser realizadas ações de manutenção desnecessárias, que apenas aumentam o custo total da manutenção e afetam o estado de equilíbrio entre os vários componentes do equipamento (Pinto, 2013; Santos, 2013).

Por outro lado, a MC é uma técnica que recorrendo à monitorização de parâmetros de funcionamento do equipamento (como por exemplo, temperatura, pressão, vibrações, circuitos elétricos, entre outros) e à análise de tendências, prevê avarias. Neste tipo de manutenção só são realizadas intervenções quando os parâmetros medidos se encontram



próximos ou tendem rapidamente para os níveis de alarme previamente definidos (Pinto, 2013).

Esta filosofia de manutenção permite reduzir os custos associados às avarias e, consequentemente, os custos associados à perda de produtividade, ao abaixamento da qualidade e ao atraso nos prazos de entrega. Permite ainda reforçar as vantagens da MPS e reduzir o número de intervenções de manutenção nos equipamentos (Pinto, 2013).

Segundo Pinto (2013), os parâmetros de funcionamento dos equipamentos podem ser medidos de duas formas diferentes:

- **Regime contínuo:** as medições são realizadas continuamente, o que torna possível a monitorização em tempo real do estado do equipamento;
- **Regime periódico:** as medições são feitas em períodos fixos e depois comparadas com os limites de alarme definidos. Se estes tiverem fora dos limites, é realizada a ação de manutenção.

### 3.2.2.3 Manutenção Preditiva

De acordo com a norma europeia EN 13306:2010, a manutenção preditiva (MPd) é baseada na condição dos equipamentos, sendo realizada de acordo com a previsão obtida pela análise e avaliação repetitiva dos parâmetros de funcionamento ou outras características conhecidas do equipamento.

Ao contrário da MC, a manutenção preditiva vai muito além da simples monitorização de parâmetros de funcionamento, fazendo uso dos dados da monitorização para prever o estado futuro do equipamento permitindo ainda calcular quanto tempo resta antes de ocorrer uma avaria (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016). Assim, atendendo à importância deste tópico para o presente trabalho, este será abordado, em maior detalhe, na secção 3.3.

### 3.2.3 Desempenho da Manutenção

Para medir as características e os parâmetros necessários para a obtenção do valor que representa o desempenho da manutenção, são utilizados indicadores de desempenho, também designados como KPI (*Key Performance Indicators*) (Faria, 2013; Pinto, 2013; Ramos, 2012). Estes permitem medir e avaliar o desempenho da manutenção numa organização e, em função dos resultados definir objetivos e implementar novas estratégias ou ações, avaliando, de novo, o seu impacto. Na Figura 3.6, são apresentados esses indicadores que convergem para obter o desempenho da manutenção.



Figura 3.6 – Componentes do desempenho da manutenção.

Fonte: Imagem adaptada de Pinto (2013).

Para calcular o valor do desempenho é utilizada a métrica OEE (*Overall Equipment Efficiency*) que determina a eficiência global do equipamento através a equação (1).

$$OEE = Qualidade \times Eficiência \times Disponibilidade \times 100 \text{ [\%]} \quad (1)$$

Para Pinto (2013), o facto de a manutenção possuir um bom desempenho tem diversas vantagens para as organizações, como: o aumento da disponibilidade e da vida útil dos equipamentos, a diminuição dos custos da manutenção e da produção, melhoria das operações de manutenção e, por último, o aumento da segurança e a diminuição do impacto ambiental.

### 3.2.3.1 Qualidade

Este indicador mede a qualidade do serviço de manutenção. Um serviço de manutenção feito com qualidade é, segundo Pinto (2013), um serviço sem erros, que não ameaça a segurança de bens ou pessoas e que é realizado de acordo com os procedimentos estipulados.

### 3.2.3.2 Eficiência

Outro dos indicadores para medir o desempenho da manutenção é a eficiência. De acordo com Pinto (2013) este mede a aptidão da manutenção em satisfazer os seus objetivos. A eficiência pode ser medida quanto à quantidade de trabalhos realizados, ou quanto ao tempo requerido para uma determinada tarefa de manutenção.

No primeiro caso, a eficiência é obtida dividindo o número de trabalhos realizados pela equipa de manutenção, num determinado intervalo de tempo, pelo número de trabalhos que estavam planeados para esse mesmo intervalo de tempo, como é visto na equação (2).

$$E = \frac{\text{Trabalho realizado}}{\text{Trabalho planeado}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (2)$$

No segundo caso, a eficiência é medida pela razão entre o tempo usado para realizar uma determinada tarefa e o tempo padronizado para essa mesma tarefa, como enunciado na equação (3).

$$E = \frac{\text{Tempo dispendido para realizar uma tarefa}}{\text{Tempo padronizado para essa tarefa}} \times 100 \text{ [\%]} \quad (3)$$

### 3.2.3.3 Disponibilidade

Segundo a norma europeia EN 13306:2010, “aptidão de um bem para executar a sua função, como e quando esta é requerida, sob determinadas condições, e assumindo que todos os recursos externos necessários são fornecidos é designada por disponibilidade”.

Pinto (2013) descreve a disponibilidade como sendo a capacidade de um equipamento realizar a sua função, num dado intervalo de tempo, e considera-a o principal e mais importante, objetivo da manutenção. Refere ainda que a disponibilidade é dependente dos conceitos de fiabilidade, manutibilidade e de apoio logístico. Sendo, dessa forma, calculada a partir da equação (4).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \times 100 \text{ [\%]} \quad (4)$$

Onde: MTBF (*mean time between failures*) – tempo médio entre avarias.  
 MTTR (*mean time to repair*) – tempo médio de reparação.  
 MWT (*mean waiting time*) – tempo médio de espera.

Contudo, alguns autores (Ebeling, 1997; Filipe, 2006) consideram que o tempo de espera (MWT) já se encontra incluído no indicador MTTR. Esses autores afirmam que o tempo total de reparação pode não conter apenas o tempo em que os técnicos de manutenção estão, efetivamente, a reparar os equipamentos, podendo, ainda, incluir tempos de espera, tempos de viagem e tempos administrativos. Nesse caso, a equação anterior é reduzida para a equação (5).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \text{ [\%]} \quad (5)$$

### Fiabilidade / confiabilidade (*reliability*)

Segundo a norma europeia EN 13306:2010 a fiabilidade, ou confiabilidade, é a “capacidade de um bem realizar a função requerida, sob determinadas condições, e durante um determinado intervalo de tempo”. Caso um bem falhe em cumprir a sua função, diz-se que este se encontra avariado. Segundo Santos (2013) a expressão “falha da função requerida” significa que ocorreu a degradação de algum parâmetro de funcionamento o que, consequentemente, leva a um desempenho insatisfatório do bem ou mesmo, à sua paragem.

Como a fiabilidade depende, maioritariamente da construção dos equipamentos, Ramos (2012), expõe algumas medidas que podem ser aplicadas para melhorar o nível de fiabilidade, como por exemplo:

- Não ultrapassar os limites de segurança dos equipamentos;
- Proteger os equipamentos de sobrecargas e de fatores ambientais;
- Realizar ações de manutenção preventiva nos equipamentos;
- Reduzir, ao mínimo, os componentes do equipamento;

- Não instalar equipamentos/componentes redundantes.

Quando se analisa a fiabilidade na manutenção, a variável de interesse é, na maior parte das situações, o tempo que decorre até à avaria do equipamento. Por conseguinte, a confiabilidade é medida pelo indicador MTBF (tempo médio entre avarias). Este indicador exprime, em média, o tempo que decorre entre duas avarias consecutivas, sendo calculado a partir da equação (6).

$$MTBF = \frac{\sum \text{tempo entre avarias}}{N^{\circ} \text{ de avarias}} \quad (6)$$

### Manutibilidade (*Maintainability*)

De acordo com a norma europeia EN 13306:2010, a Manutibilidade é definida como a “aptidão de um bem para ser mantido ou restaurado a um estado que lhe permita cumprir as funções dele requeridas, sob condições de funcionamento definidas e usando procedimentos e recursos especificados”.

Para Pinto (2013), a manutibilidade vai depender, essencialmente, do *design* dos equipamentos e da experiência da equipa de manutenção, acrescentando ainda que um equipamento com um bom nível de manutibilidade apresenta menores tempos de reparação, menores custos na manutenção e uma maior facilidade no diagnóstico e na intervenção. Assim tanto Pinto (2013) como Ramos (2012) salientam as seguintes medidas para melhorar a manutibilidade:

- Instalar sensores para detetar avarias;
- Projetar o equipamento para se ter fácil acesso aos seus componentes;
- Reduzir, ao mínimo, e homogeneizar os componentes do equipamento;
- Projetar o equipamento para que as inspeções mais frequentes possam ser realizadas com o mesmo ligado e de forma segura;
- Facilitar a disponibilidade de peças e componentes de reserva num curto período de tempo;
- Garantir assistência por parte do fornecedor do equipamento;
- Identificar os vários componentes dos equipamentos;
- Elaborar manuais de reparação e instruções de manutenção e disponibilizá-los próximo dos equipamentos.

Resumidamente, a manutibilidade define a facilidade com que a manutenção é realizada, sendo medida através do indicador MTTR (tempo médio de reparação). Este compreende o tempo desde que o equipamento avaria, até que volta a funcionar, podendo ser calculado pela equação (7).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempo de reparação (pode incluir tempos de espera ou outros)}}{N^{\circ} \text{ total de intervenções de manutenção}} \quad (7)$$

### Apoio logístico

Segundo Pinto (2013), o apoio logístico, ou eficiência de suporte, influencia a disponibilidade na medida em que afeta o tempo médio de espera – MWT (*mean waiting*

*time*). Este tempo consiste no tempo em que o equipamento avariado espera pela equipa de manutenção ou, no tempo em que a intervenção de manutenção é interrompida por falta de material, mão-de-obra, ou por algum outro motivo. Assim, como referido anteriormente, este tempo de espera encontra-se adicionado ao tempo de reparação.

É importante salientar que um tempo de espera muito elevado pode indicar uma má organização por parte do departamento de manutenção, podendo ainda resultar de uma má coordenação dos recursos à disposição da manutenção ou da falta deles (Pinto, 2013).

### 3.3 Manutenção Preditiva

Como referido anteriormente a manutenção preditiva monitoriza, analisa e avalia as condições de funcionamento da máquina, com o intuito de prever avarias e determinar qual o tempo de vida útil restante do equipamento. Ao determinar este tempo, as equipas de manutenção são capazes de planear, com precisão e antecedência, as ações de manutenção (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016).

É importante referir, que utilizar uma filosofia de manutenção preditiva não elimina a necessidade de realizar intervenções de manutenção corretiva ou preventiva. Um programa de MPd chega mesmo a definir quais as alturas requeridas pelo equipamento para realizar essas ações, baseando-se, para tal, em dados reais do equipamento, em vez de depender de parâmetros estatísticos (Higgins e Mobley, 2002; Mobley, 2002).

Segundo Schmidt *et al.* (2017) a MPd, para prever a saúde e o estado de degradação dos equipamentos, deve utilizar vários tipos de informação como por exemplo:

- **Dados relacionados com os equipamentos:** tipo de máquina, a sua localização e constituição;
- **Ordens de trabalho:** lista de peças de substituição utilizadas, ações de manutenção realizadas no equipamento, descrição das falhas ou avarias, apresentação das suas causas e métodos utilizados para as resolver;
- **Monitorização de parâmetros de funcionamento do equipamento:** temperatura, pressão, vibrações, medidas geométricas, entre outros;
- **SCADA (Sistemas de supervisão e aquisição de dados):** número de ciclos do equipamento, tipos de variantes produzidas;

Como apresentado previamente na secção 1.1, a manutenção preditiva tem inúmeras vantagens, o que direciona as empresas para a implementação deste tipo de filosofia. Apresentam-se assim, em jeito de revisão, as vantagens da MPd (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Mobley, 2002):

- Reduz o número de avarias ou falhas;
- Maximiza a produtividade;
- Reduz os custos da manutenção;
- Melhora as condições de segurança, tanto dos colaboradores como da instalação;
- Aumenta a disponibilidade dos equipamentos e a sua vida útil;
- Permite uma utilização mais eficiente dos recursos;
- Reduz as ações de manutenção planeadas e não planeadas;

- Permite manter ou até melhorar a qualidade dos produtos;
- Melhora a performance da organização;
- Aumenta a fiabilidade nos processos de produção.

Gouriveau *et al.* (2016) e Jardine *et al.* (2006) dividem a MPd em quatro fases sequenciais, apresentados na Figura 3.7.

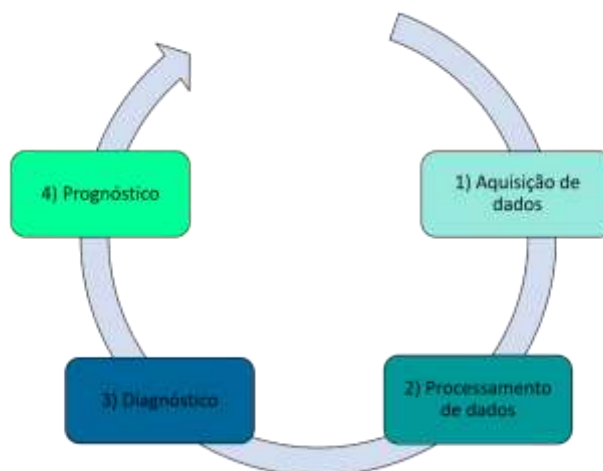


Figura 3.7 – Fases da manutenção preditiva.

### 3.3.1 Aquisição de dados

Previamente à fase de aquisição de dados, foram definidos os componentes críticos do equipamento e os parâmetros físicos que descrevem a evolução do fenómeno da degradação. A escolha dos parâmetros físicos a medir permite também escolher quais os tipos de sensores a utilizar. Após realizado todo este estudo, é que se procede efetivamente ao processo de aquisição de dados pelos sensores (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016). O sistema de aquisição de dados possui a arquitetura presente na Figura 3.4. Segundo Efthymiou *et al.* (2012) e Jardine *et al.* (2006), os dados obtidos por estes sistemas podem ser divididos consoante a classificação apresentada na Figura 3.8.

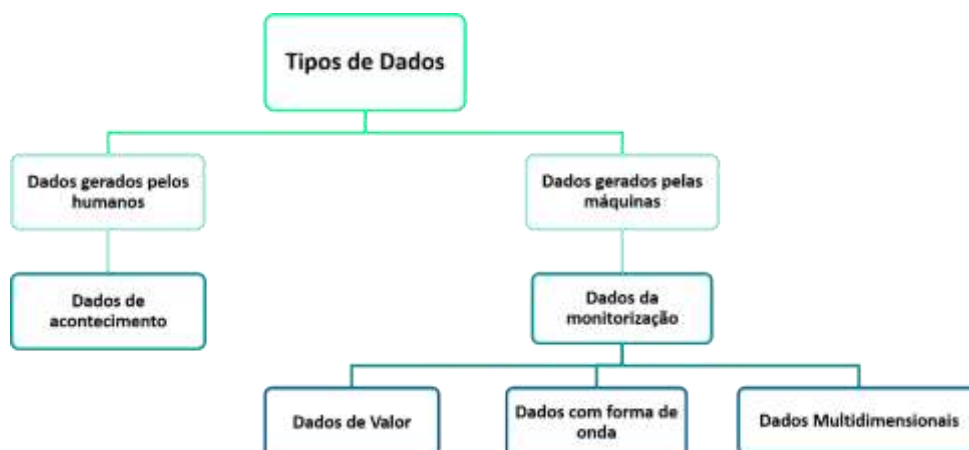


Figura 3.8 – Tipos de dados adquiridos.

- **Dados gerados pelos humanos:** consistem nos dados de acontecimentos, isto é, englobam a descrição das avarias, as suas causas e as tarefas que foram levadas a cabo para a resolver;
- **Dados gerados pelas máquinas:** consistem nos dados da monitorização dos parâmetros de funcionamento.
  - **Dados de Valor:** dados recolhidos num determinado instante e que possuem um único valor como por exemplo, temperatura, pressão, análise do óleo, entre outros.
  - **Dados com forma de onda:** sinal, em forma de onda, que varia em função do tempo como por exemplo sinais de vibração ou sinais acústicos;
  - **Dados multidimensionais:** estes dados apresentam-se sob a forma de imagens infravermelhas, raios-X, entre outros.

Após a aquisição de dados, e antes de se passar para a próxima fase da manutenção preditiva, ocorre o pré-processamento da informação, com o intuito de detetar erros ou perdas de amostragem. As atividades de pré-processamento podem consistir em filtração, que elimina o ruído, ou reamostragem, que permite a redução do tamanho da amostra (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016).

### 3.3.2 Processamento de dados

Nesta fase os dados adquiridos anteriormente são analisados com o objetivo de encontrar informação que auxilie no processo de deteção de avarias. Segundo Jardine *et al.* (2006), o processo de extração de informação útil a partir dos dados recolhidos é designado de extração de características. Estas características possuem informação, que será mais tarde “aprendida” pelos algoritmos de deteção, diagnóstico e prognóstico.

As técnicas de extração de características utilizadas encontram-se divididas segundo o tipo de dados a processar: dados de valor, dados com forma de onda ou dados multidimensionais. Os dados com forma de onda são ainda processados tendo em conta o tipo de sinal: sinais estacionários ou sinais não estacionários. Os sinais estacionários são sinais cujas propriedades não variam com o tempo, podendo ser processados no domínio temporal ou no domínio da frequência. Por outro lado, nos sinais não estacionários, as suas propriedades são dependentes do tempo, sendo por isso processados no domínio temporal e de frequência (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Jardine, Lin e Banjevic, 2006)

#### 3.3.2.1 Dados de Valor

Os dados de valor correspondem a dados obtidos diretamente dos sensores ou a características extraídas após o processamento dos sinais recolhidos. Segundo Jardine *et al.* (2006), o processamento destes dados é, aparentemente, mais simples que o dos sinais e multidimensionais. Contudo, quanto maior a quantidade de dados, mais complexa se torna a correlação entre as diferentes variáveis (relacionar diferentes temperaturas, pressões, entre outros), sendo, consequentemente, a deteção dessas correlações mais difícil de encontrar.



### 3.3.2.2 Dados com forma de onda (*Waveform data*)

O processamento de dados com forma de onda é também designado por processamento de sinal. Esta análise pode ser realizada em três grandes domínios: no domínio do tempo, no domínio da frequência e no domínio do tempo-frequência.

#### **Análise no domínio do tempo**

Quando se realiza uma análise temporal, são extraídas as características temporais dos sinais adquiridos, como por exemplo (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Jardine, Lin e Banjevic, 2006): média, variância, valor médio quadrático, entre outros.

No entanto, as variações das características temporais não são pronunciadas, levando a que o tempo entre a deteção da falha e o aparecimento da mesma não seja suficiente para se determinar o tempo de vida útil restante e, em função disso, planejar e executar ações de manutenção. Por esta razão este tipo de análise só é útil para o diagnóstico e para o prognóstico quando as características são pronunciadas (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016).

Jardine *et al.* (2006) apresentam exemplos de várias técnicas de análise temporal, considerando que a mais utilizada é a TSA (*Time Synchronous Average*), isto é, média de tempo síncrono. Esta técnica utiliza o conjunto de médias do sinal ao longo de vários ciclos removendo ou reduzindo o ruído do sinal inicial, tornando-se possível salientar as características de interesse.

#### **Análise no domínio da frequência**

Neste tipo de análise, o objetivo é estudar a frequência dos sinais adquiridos para detetar e localizar falhas nos componentes. Apesar de a análise no domínio do tempo ser eficaz na deteção de falhas, a análise de frequência permite não só identificar as falhas como também as localizar, isto é, descobrir onde o defeito está localizado (Yan, Qiu e Iyer, 2008).

Segundo diversos autores (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Jardine, Lin e Banjevic, 2006; Yan, Qiu e Iyer, 2008), o método mais utilizado para este tipo de análise é a análise do espectro pela transformada de Fourier. Esta consiste na observação de todo o espectro do sinal adquirido, ou apenas a observação de uma parte, de forma a extrair características que auxiliam na deteção de falhas (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

#### **Análise no domínio tempo-frequência**

Jardine *et al.* (2006) salientam que quando ocorre uma falha de um equipamento, os sinais não estacionários são bastante comuns, sendo essa a razão pela qual as técnicas de análise no domínio da frequência não serem ideais e, em vez delas, se usarem técnicas no domínio do tempo-frequência.

A análise neste domínio permite, tal como o nome indica, analisar os sinais nos dois domínios, no do tempo e no da frequência. Este é o tipo de análise que viabiliza a identificação de padrões de falha em sinais não estacionários, uma vez que permite detetar



nos mesmos alterações dependentes do tempo nas várias componentes da frequência (Yan, Qiu e Iyer, 2008).

Segundo Gouriveau *et al.* (2016), técnicas como a transformada de Fourier de curto termo, a transformada de Hilbert-Huang, o método de decomposição empiricamente modal e a decomposição de pacotes Wavelet são do maior interesse para detetar falhas, monitorizar o estado de saúde dos equipamentos ou seus componentes e para determinar o tempo de vida útil dos mesmos.

### 3.3.2.3 Dados Multidimensionais

O processamento de dados multidimensionais consiste, maioritariamente, na utilização de técnicas de processamento de imagens. Jardine *et al.* (2006) afirmam que o processamento deste tipo de dados é muito similar ao dos dados em forma de onda, todavia mais complicado. As imagens recolhidas são analisadas com o objetivo de extrair características que auxiliem na deteção de falhas e no diagnóstico de falhas (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

### 3.3.3 Diagnóstico

O diagnóstico consiste no processo de identificação de padrões e correlações com base nos dados e características obtidas no nível anterior (processamento de dados), encontrando-se para tal dividido em três fases distintas: 1) Deteção de falhas; 2) Isolamento de falhas; 3) Identificação de falhas.

**1) Deteção de falhas:** Nesta fase os dados, previamente processados, são analisados em tempo real, com o intuito de detetar condições de funcionamento anormais no sistema a monitorizar. Se tais anormalidades forem detetadas, devem ser gerados alertas. (Efthymiou *et al.*, 2012; Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

**2) Isolamento de falhas:** Uma vez detetadas anomalias no funcionamento do sistema, o objetivo é determinar qual o componente que falhou ou que está a falhar (Efthymiou *et al.*, 2012).

**3) Identificação de falhas:** A última fase do processo de diagnóstico consiste na identificação da natureza da falha, ou seja, determinar qual a “Causa Raiz” da avaria, sendo que as conclusões retiradas podem ser utilizadas para melhorar a precisão do processo de prognóstico (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

Existem diversas abordagens para detetar padrões de avarias, segundo Jardine *et al.* (2006), estas abordagens podem ser realizadas através de ferramentas estatísticas, de inteligência artificial ou baseadas em modelos. Jardine *et al.* (2006) salientam o teste de hipóteses como um dos exemplos mais comuns de uma abordagem estatística para a deteção de avarias. Este teste baseia-se na informação obtida pela monitorização dos parâmetros da máquina para determinar se existe ou não uma avaria.

Abordagens em que se faz uso de ferramentas de inteligência artificial são cada vez mais comuns para detetar avarias em equipamentos. Destas técnicas, as mais mencionadas na literatura são as redes neurais artificiais (*artificial neural networks*), as redes neurais

difusas (*fuzzy-neural networks*) e os algoritmos evolucionários (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

As abordagens baseadas em modelos, utilizam modelos matemáticos específicos da máquina em estudo, para obter sinais residuais que indicam a presença de uma avaria. Apesar de esta abordagem ser mais eficaz do que as mencionadas anteriormente, nem sempre é possível de a realizar, devido à complexidade dos equipamentos (Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

### 3.3.4 Prognóstico

O prognóstico consiste em prever, de forma precisa, o tempo que resta até que ocorra uma avaria (*Remaning useful life* – RUL), tendo como base as atuais condições de funcionamento e o perfil de funcionamento passado do sistema (Efthymiou *et al.*, 2012; Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016; Jardine, Lin e Banjevic, 2006).

O tempo de vida útil restante é determinado pela diferença entre o instante atual ( $t_{atual}$ ) e o instante em que a falha vai ocorrer ( $t_{falha}$ ), como é apresentado na equação (8) (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016).

$$RUL = t_{falha} - t_{atual} \quad (8)$$

Na Figura 3.9, pode ver-se as várias relações que vão resultar na criação de um plano de manutenção para um sistema e situação específicos, cujo objetivo é resolver a(s) futura(s) avaria(s).

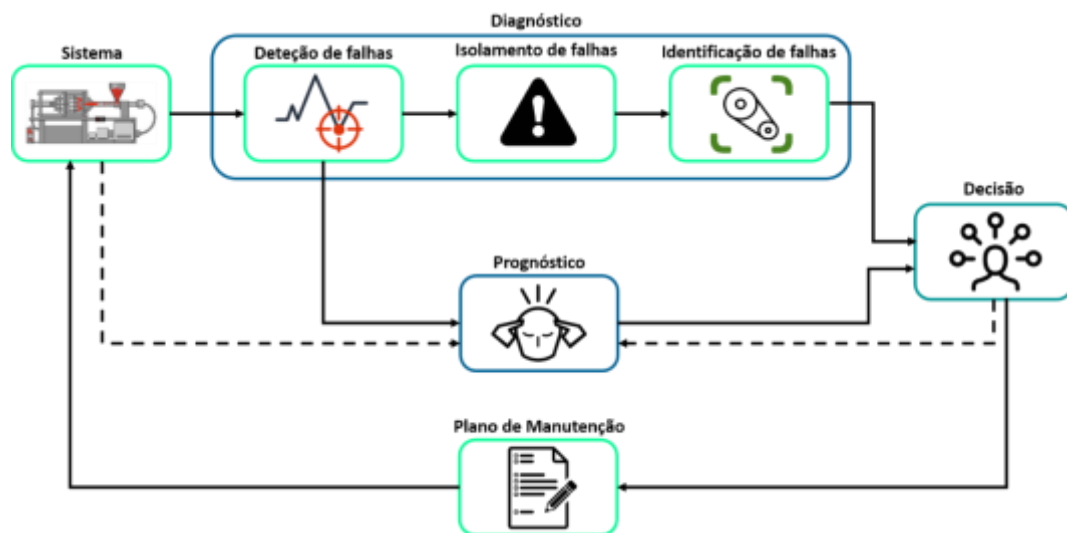


Figura 3.9 – Diagrama representativo dos processos de diagnóstico e prognóstico.

Fonte: Imagem adaptada de Gouriveau *et al.* (2016).

A detecção de condições de funcionamento anormais conduz, posteriormente, ao isolamento e à identificação da falha. Todavia, se essas mesmas condições já ocorreram anteriormente, o processo de prognóstico pode prever quando tempo resta até que a avaria ocorra. Todo o conhecimento retirado é depois usado para tomar decisões quanto ao plano

de manutenção a adotar e para otimizar esses mesmos planos de acordo com critérios como risco, custo, fiabilidade e disponibilidade (Gouriveau, Medjaher e Zerhouni, 2016).

## 3.4 Indústria 4.0

### 3.4.1 Evolução histórica e conceito

Uma revolução industrial é o resultado de um período de grandes mudanças que têm impacto não só a nível tecnológico, mas também a nível económico, social e político. Até aos dias de hoje, ocorreram três revoluções industriais, sendo que atualmente a indústria se aproxima da quarta revolução.

A primeira revolução decorreu entre 1760 e 1840 e foi originada pela substituição do método de produção artesanal por um método de produção mecânica através da introdução da máquina a vapor (Ribeiro, 2017).

A segunda revolução industrial ocorreu entre o final do século XIX e o início do século XX, pela introdução das linhas de produção e da energia elétrica, que tornaram possível a produção em massa (Ribeiro, 2017).

Durante as décadas de 1950 e 1970, deu-se a terceira revolução industrial, também conhecida como a revolução digital. Esta revolução é marcada pelo desenvolvimento das tecnologias de informação (computadores para o processamento de dados de forma digital), da automação e da Internet, assim como pela utilização de semicondutores ao longo das linhas de produção (Coelho, 2016; Ribeiro, 2017).

Desde o início do século XXI que a necessidade de utilizar os recursos de forma eficiente, reduzir a mão-de-obra, diminuir os tempos de entrega, produzir produtos cada vez mais customizados e aumentar o nível de qualidade dos mesmos obrigou as empresas a repensar os seus sistemas de produção de forma a eliminar desperdício. Estas exigências levaram as empresas a substituir os sistemas de produção em massa convencionais por sistemas mais flexíveis, dinâmicos, inteligentes e complexos (Matos, 2017; Ribeiro, 2017; Silva, 2017).

A introdução destes sistemas é possível através do desenvolvimento e posterior implementação de novas e melhores tecnologias, como por exemplo: sensores de tamanho reduzido e mais potentes; internet mais ubíqua e móvel; inteligência artificial; aprendizagem automática por parte das máquinas (*Machine Learning*); *softwares* e *hardwares* mais sofisticados; microcomputadores autónomos (sistemas “*embedded*”) e a internet das coisas e serviços (Coelho, 2016; Schwab, 2016).

Como consequência de todas estas transformações, considera-se que a indústria está à beira da próxima revolução industrial, mais conhecida como Indústria 4.0. Ribeiro (2017) descreve este conceito como a total digitalização dos ativos físicos das empresas e a sua integração em sistemas digitais. Deste modo, máquinas, sistemas e ativos poderão comunicar entre si realizando o controlo do processo de produção e tomando decisões (como por

exemplo, a programação de ações de manutenção ou a realização de alterações no processo produtivo) de uma forma autônoma (Ribeiro, 2017).

### **3.4.2 Alguns dos principais componentes da indústria 4.0**

#### **3.4.2.1 Sistemas Ciberfísicos (CPS)**

Os sistemas ciberfísicos são os principais componentes no ambiente da indústria 4.0. Estes são dispositivos inteligentes (*smart devices*) que, através da rede, permitem conectar os vários ativos físicos (dispositivos, equipamentos, máquinas) com o auxílio de sensores, atuadores e sistemas de aquisição de dados, com as infraestruturas de comunicação e computação (Coelho, 2016; Matos, 2017; Silva, 2017).

Na instalação, os vários CPS, ligados em rede com as tecnologias de informação e ativos físicos, trocam informação e controlam-se mutuamente, de forma coordenada e autônoma. Deste modo, são capazes de se adaptar rapidamente a alterações no sistema produtivo e tomar decisões de forma independente (Nunez e Borsato, 2015; Silva, 2017).

#### **3.4.2.2 Internet das coisas (IoT)**

O termo Internet das coisas, ou em inglês *Internet of things*, foi pela primeira vez utilizado em 1999 por Kevin Ashton. Ashton descreve a IoT como um sistema em que objetos do mundo real estão conectados à internet através de sensores (Rose, Eldridge e Chapin, 2015).

No entanto, atualmente, este termo é muito mais abrangente consistindo, segundo Rose *et al.* (2015), na “extensão da conectividade de rede e capacidade de computação para objetos, dispositivos, sensores e outros itens que, normalmente, não são considerados computadores”.

Resumidamente, e tendo em conta a definição dada anteriormente para os CPS, a IoT é uma rede de CPS que ao estarem interligados trocam informação entre si, o que lhes permite estar, continuamente, a aprender e realizar tarefas de forma autônoma, colaborativa e inteligente (Matos, 2017; Rose, Eldridge e Chapin, 2015).

#### **3.4.2.3 Fábrica inteligente**

Uma fábrica inteligente interliga ativos físicos (como pessoas, máquinas, equipamentos, produtos, entre outros) com um fluxo contínuo de informação das diferentes operações da instalação fabril (Hermann, Pentek e Otto, 2016). Assim, a fábrica inteligente torna-se num sistema flexível, capaz de executar processos de produção e otimizar a sua performance de forma autônoma, adaptando-se e aprendendo com novas condições (Burke *et al.*, 2017).

Outra das vantagens da fábrica inteligente é a sua capacidade para operar além das quatro paredes da empresa, isto é, uma fábrica deste tipo pode conectar a uma rede mais ampla, ligando-se a outros sistemas de produção semelhantes ou até mesmo a toda a cadeia de abastecimento (Burke *et al.*, 2017).

Neste sentido, e de uma forma sintetizada, uma fábrica inteligente é composta por sistemas ciberfísicos (CPS) que, comunicando através da IoT, recolhem e trocam informação que lhes permite tomar decisões em tempo real, de modo rápido e autónomo (Lucke, Constantinescu e Westkämper, 2008; Matos, 2017).

É importante salientar que, numa fábrica como esta, o operador humano torna-se na parte mais flexível do sistema, pela sua adaptabilidade à crescente complexidade dos sistemas. Assim, o operador deixa de ser um simples operador de máquina e torna-se responsável por especificar, monitorizar e verificar as estratégias de produção e resolver os problemas da instalação (Hermann, Pentek e Otto, 2016).

Segundo Burke *et al.* (2017) as características mais importantes de uma fábrica inteligente são:

- **Conectividade:** os processos, produtos e materiais devem estar conectados para que a recolha e troca de informação necessária à tomada de decisões em tempo real seja possível;
- **Otimização:** a produção deve ser fiável e previsível, com a mínima intervenção humana e altamente automatizada;
- **Transparência:** os dados que são recolhidos pelos vários sistemas devem ser o mais transparentes possível, isto é, devem permitir visualizar de forma rápida e fácil erros ou anomalias nos vários sistemas de produção. Uma melhor visibilidade permite às organizações tomar decisões acertadas, de forma rápida e consistente;
- **Proatividade:** esta característica implica que os colaboradores e sistemas possam antecipar um problema e atuar em conformidade com o mesmo;
- **Agilidade:** uma fábrica ágil e flexível adapta-se rapidamente a alterações nos processos, nos produtos, no *layout*, entre outros.

#### 3.4.2.4 *Big Data*

Segundo De Mauro *et al.* (2015), o termo *Big Data* representa “os ativos de informação caracterizados por um volume, velocidade e variedade tão elevados, que requerem tecnologia e métodos analíticos específicos para a sua transformação em valor” (Mauro, De, Greco e Grimaldi, 2015). Por “ativos de informação”, os autores querem referir-se aos conjuntos de informação que possuem valor para a organização, como por exemplo, as bases de dados com parâmetros de funcionamentos críticos de um equipamento, opiniões do cliente, entre outros.

É importante salientar que os *Big Data* são gerados ou pelas máquinas, ou pelo homem. O primeiro tipo de dados é gerado automaticamente através de sensores dos equipamentos, entre outros. O segundo tipo de dados é composto pelo *feedback* dos clientes, plataformas sociais (Facebook, Twitter, etc.), documentos, empregados, entre outros (ORACLE, 2013).

Ao estudar a definição de *Big Data* dada anteriormente, salienta-se três termos: volume, velocidade e variedade, que foram mencionados pela primeira vez por Laney (2001). Estes conceitos são considerados um desafio para a gestão de dados, uma vez que

ambos os três conceitos alertam para uma quantidade e variedade de dados tão grande que a sua análise se torna cada vez mais complexa e demorada.

- **Volume:** este termo refere-se à magnitude dos dados. Segundo Gandomi e Haider (2015) o volume depende essencialmente do tempo, do tipo de dados e da indústria. Com as inovações tecnológicas, a capacidade de armazenamento tem vindo a crescer, significando isto que a quantidade de dados que se consegue armazenar é cada vez maior.
- **Velocidade:** está relacionada com a taxa à qual os dados são gerados, com a velocidade de análise dos mesmos e com a velocidade de atuação face às conclusões da análise (Gandomi e Haider, 2015).
- **Variedade:** refere-se à heterogeneidade dos dados. Segundo Gandomi e Haider (2015), os dados são gerados em três formatos: estruturados, semiestruturados e não estruturados. Os estruturados são dados numéricos, normalmente encontrados em bases de dados ou folhas de cálculo. Os não estruturados (como por exemplo, imagens, documentos de texto, vídeo, entre outros) não possuem, no seu formato original, uma estrutura que as máquinas consigam analisar. E por fim, os semiestruturados que mesmo não sendo dados estruturados, são passíveis de serem interpretados pelas máquinas. Gandomi e Haider (2015) apresentam a linguagem XML (*Extensible Markup Language*) como exemplo desta estrutura. Esta linguagem para troca de dados na *web* possui nos seus documentos umas etiquetas que tornam texto interpretável pelas máquinas.

Para além dos três termos apresentados, outros têm surgido para caracterizar os *Big Data*, sendo eles:

- **Veracidade:** segundo Gandomi e Haider (2015), este termo representa a falta de fiabilidade de alguns tipos de dados. Por exemplo, as opiniões dos clientes são informações valiosas, no entanto estão imersas em subjetividade o que torna a sua análise uma atividade incerta;
- **Variabilidade:** este deve-se à crescente variedade e velocidade dos dados. Devido a isto os fluxos de dados gerados sofrem variações inconstantes, resultando em picos periódicos o que dificulta a gestão dos dados (SAS, [s.d.]);
- **Complexidade:** este termo representa os dados que, atualmente, são gerados por múltiplas fontes. Isto obriga-os a ser conectados, combinados, limpos e transformados (Gandomi e Haider, 2015);
- **Valor:** por vezes, apesar de se obter um grande volume de dados, estes no seu formato original, possuem pouco valor. Neste caso os dados devem ser analisados para que destes seja retirada informação útil, aumentando assim o seu valor (Gandomi e Haider, 2015).

### 3.4.3 Princípios base da Indústria 4.0

Os princípios base da indústria 4.0 fornecem os principais fundamentos de *design* em que as organizações devem investir se pretenderem implementar tecnologias inovadoras (Martin, 2017). Após a análise de alguma literatura sobre o tema (Hermann, Pentek e Otto, 2016; Martin, 2017; Matos, 2017; Ribeiro, 2017), conclui-se que os principais princípios são:

- **Virtualização:** este princípio assenta na capacidade de os sistemas ciberfísicos simularem e criarem uma cópia virtual do mundo físico o que, em caso de avaria



pode fornecer informações vitais aos operadores. Para além disto, os CPS têm a capacidade de monitorizar o ambiente que os rodeia, incluindo processos e objetos físicos;

- **Interoperabilidade:** este princípio descreve a capacidade para conectar máquinas, dispositivos, sensores e pessoas através da IoT (Hermann, Pentek e Otto, 2016; Matos, 2017). A interoperabilidade é considerada o princípio que torna realidade a fábrica inteligente que, ao conectar os vários ativos físicos, através de tecnologias *wireless*, torna possível partilhar informação entre os vários sistemas, criando-se assim a base para a indústria 4.0 (Hermann, Pentek e Otto, 2016). No entanto a interoperabilidade é, apesar de fundamental, um grande desafio, uma vez que os sistemas e suas tecnologias são completamente distintos, tornando difícil a sua conexão para que estes troquem, entre si, dados de forma transparente e consistente (Matos, 2017);
- **Modularidade:** ao utilizar sistemas modulares, as organizações conseguem, pela introdução e/ou remoção de módulos um sistema flexível e que se adapta a alterações nos produtos, alterações nos requisitos dos mesmos e a flutuações da procura (Hermann, Pentek e Otto, 2016; Matos, 2017);
- **Descentralização:** permite aos sistemas ciberfísicos trabalhar de forma independente e autónoma (Martin, 2017; Matos, 2017). Segundo Hermann *et al.* (2016) a utilização combinada dos princípios da interoperabilidade e da descentralização permite utilizar, simultaneamente, informação local e global para auxiliar as organizações na tomada de melhores decisões e no aumento da produtividade global. Como consequência, cria-se um ambiente mais flexível que abrirá as portas a produtos cada vez mais customizados;
- **Capacidade em tempo real:** este princípio enfatiza a importância da aquisição e análise de dados numa fábrica inteligente. Através da análise dos dados adquiridos, a fábrica inteligente é capaz de tomar decisões, autonomamente, e se adaptar às necessidades em tempo real. Se um problema for detetado os CPS devem identifica-lo e realocar a produção para outras máquinas disponíveis e, ainda avisar o colaborador responsável sobre a situação (Martin, 2017; Matos, 2017);
- **Orientação para os serviços:** este princípio permite às empresas criar uma ligação, através da Internet dos Serviços (IoS), entre os CPS da instalação fabril e os clientes, o que permite que os produtos sejam produzidos consoante as especificações dos clientes (Martin, 2017).

#### 3.4.4 Manutenção na Indústria 4.0

Antes do surgimento da indústria 4.0 as empresas realizavam, maioritariamente, dois tipos de manutenção: preventiva e corretiva. A função da manutenção preventiva consistia em assegurar a disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos baseando-se para tal no histórico dos mesmos. Contudo, esta manutenção conduz, muitas vezes, a ações de manutenção desnecessárias e à substituição de componentes em boas condições, aumentando assim os custos associados à manutenção. Por outro lado, quando se realiza uma manutenção corretiva ocorrem paragens não planeadas o que aumenta, em grande medida, os custos associados à manutenção e à produção (Silva, 2017).

Atualmente, com a transição das empresas para a indústria 4.0 outra estratégia de manutenção tem-se tornado crucial: a manutenção preditiva. Segundo Silva (2017), investigadores estão, atualmente, a trabalhar com o intuito de tornar os ativos físicos mais inteligentes, tornando-os capazes de determinar, com maior precisão, o tempo de vida restante dos componentes e detetar erros que o operador não consegue (Roubaud, 2017; Silva, 2017).

### 3.4.5 Desenvolvimento Sustentável na Indústria 4.0

Keeble (1987) define desenvolvimento sustentável como o “desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades.”

A escassez dos recursos não renováveis, a procura de mão-de-obra mais barata, os grandes impactos atmosféricos, a criação de legislação ambiental mais restrita e a implementação de tecnologias complexas e inovadoras, afeta o setor industrial em termos sociais, económicos e ambientais (Jayal *et al.*, 2010). Neste sentido, a implementação de políticas de desenvolvimento sustentável é cada vez mais uma necessidade com a aproximação da quarta revolução industrial. É assim indispensável que as organizações, no paradigma da indústria 4.0, apostem num desenvolvimento sustentável, não só a nível ambiental, mas também a nível económico e social.

Segundo Silva (2017), o desenvolvimento económico envolve a criação de lucro e de empregos, a redução de custos, a atração de consumidores e aumento da competitividade. Por outro lado, o desenvolvimento social implica o melhoramento das condições de trabalho, assim como de segurança, e a evolução do sentido de responsabilidade social nos produtos e serviços. Finalmente, o desenvolvimento ambiental envolve a conservação e o uso eficiente de energia e recursos, utilização de energias renováveis e redução das emissões de carbono e reciclagem (Silva, 2017).

Os princípios base da indústria 4.0, apresentados na secção 3.4.3, fornecem às organizações imensas oportunidades para implementarem uma produção sustentável tanto em termos ambientais, como sociais e económicos.

- **Virtualização:** ao ser possível reproduzir virtualmente o mundo físico, os colaboradores deixam de ter de se deslocar continuamente, podendo atuar a partir de um local específico, havendo um uso mais eficiente dos recursos e um melhoramento das condições de trabalho (Silva, 2017).
- **Interoperabilidade:** o facto de os vários CPS comunicarem entre si reduz os impactos negativos de alterações imediatas nos produtos e nos processos. Esta característica permite fazer uma utilização racional e eficiente dos materiais e dos recursos energéticos, contribuindo ainda para a redução do número de defeitos e para a diminuição do desperdício (Silva, 2017).
- **Modularidade:** os sistemas modulares são capazes de se auto adaptar às mais variadas alterações. Esta flexibilidade permite que, aquando alterações, os sistemas se adaptem com o intuito de facilitar melhorias nos processos produtivos e usar os recursos (materiais e energéticos) de uma forma racional e eficiente. No entanto, este princípio apresenta um impacto negativo na oferta de emprego, uma



vez que os CPS tomam as suas próprias decisões e alteram a sua arquitetura conforme a necessidade. (Silva, 2017).

- **Descentralização:** esta característica permite que a produção se adapte a alterações rápida e eficientemente. Este princípio contribui, por isso para uma utilização correta dos recursos (materiais e energéticos). Todavia, o facto, de os CPS tomarem decisões autonomamente afeta vários postos e trabalho (Silva, 2017).
- **Capacidade em tempo real:** ao controlar em tempo real a produção é possível adequar o processo automaticamente a novas necessidades, o que terá um impacto positivo na redução do uso incorreto dos recursos, na redução do desperdício e do número de defeitos associados aos processos (Silva, 2017).
- **Orientação para os serviços:** ao criar uma ligação entre os CPS e o cliente, este último passa a definir com exatidão o produto que quer, esta característica permite criar produtos altamente personalizados, rentáveis e com um ciclo de vida fechado, tanto a nível económico como ambiental (Silva, 2017).

## 3.5 Unified Modelling Language (UML)

A crescente complexidade no desenvolvimento de sistemas dificulta a comunicação entre os vários envolvidos no processo, o que resulta numa interpretação errónea ou, no esquecimento de importantes detalhes para o sistema. Assim, para contornar estes problemas torna-se útil utilizar uma linguagem como o UML (Hamilton e Miles, 2006).

UML é uma linguagem de modelação estandardizada, cujo objetivo é especificar, visualizar, construir, documentar, simular e testar artefactos<sup>1</sup> dos sistemas de *software*. Consiste no desenvolvimento de um conjunto de diagramas que modelam de forma simplificada o sistema real, para que se consiga perceber, de forma rápida e eficiente, o *design* e a viabilidade do sistema a construir (Chonoles e Schardt, 2003; Hamilton e Miles, 2006).

### 3.5.1 Objetos, Classes, Atributos e Métodos

Um objeto é uma entidade do mundo real que possui uma identidade, uma estrutura e um comportamento. A identidade é responsável por diferenciar os objetos uns dos outros, a estrutura, ou estado, fornece informação sobre as características do objeto, e o comportamento informa sobre que ações realiza o objeto (Chonoles e Schardt, 2003; Ramos e Farinha, 2006; Rumbaugh, Jacobson e Booch, 2004).

A um conjunto de objetos que partilham a mesma identificação, estrutura e comportamento dá-se o nome de Classe, sendo esta constituída por métodos e atributos. Os métodos, também designados de funções, especificam características comportamentais da classe ao passo que, os atributos contêm características que descrevem a mesma.

---

<sup>1</sup> Unidade física ou, informação física, usada ou produzida pelo processo de desenvolvimento de *software* ou pela operação do sistema. Os artefactos podem ser movidos, manipulados e armazenados e podem consistir em modelos, descrições ou *softwares* (Rumbaugh, Jacobson e Booch, 2004).

### 3.5.2 Diagramas utilizados no UML

Os diagramas utilizados nesta linguagem dividem-se em duas categorias principais, como é apresentado na Figura 3.10. Os diagramas estruturais são utilizados para descrever os objetos que constituem o sistema a desenvolver, enquanto que, os diagramas comportamentais descrevem as interações existentes entre os objetos, e que permitem que o sistema seja funcional. Resumidamente, a primeira categoria descreve e caracteriza os constituintes do sistema ao passo que a segunda descreve como o sistema responde a alterações ao longo do tempo (Chonoles e Schardt, 2003).

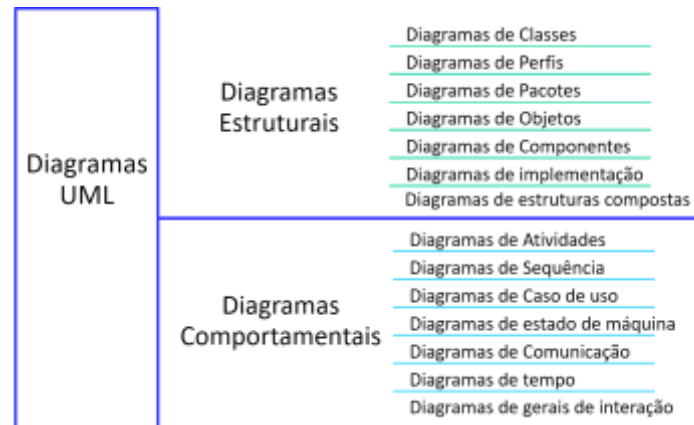


Figura 3.10 – Tipos de diagramas UML.

Fonte: Imagem adaptada de Chonoles e Schardt (2003).

Desta panóplia de diagramas serão apenas aprofundados aqueles que terão relevância para o tema do presente trabalho, sendo eles o diagrama de classes, diagrama de casos de uso, diagrama de sequência e diagrama de atividades.

#### 3.5.2.1 Diagramas de classes

Os diagramas de classes (Figura 3.11) pretendem exibir as classes que compõem um sistema e as relações que ocorrem entre essas mesmas classes (Sousa, 2008).

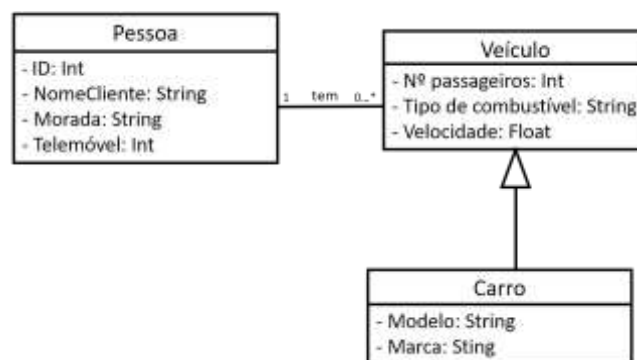


Figura 3.11 – Exemplo da representação de um diagrama de classes.

Segundo Sousa (2008), o primeiro passo no desenvolvimento de um diagrama de classes consiste na obtenção das classes que o vão constituir, sendo depois identificados os atributos que as caracterizam. Conhecendo-se as classes e os respetivos atributos identificam-se os vários tipos de relações que ocorrem entre as diferentes classes. Neste tipo de diagramas podem existir quatro tipos distintos de relações (Figura 3.12):

- **Associação:** permite saber que classes se relacionam, e de que forma.
- **Generalização:** permite identificar subclasses que possuem estruturas e comportamentos similares, criando uma superclasse. Os atributos de uma superclasse são herdados por todas as suas subclasses, ainda assim cada subclasse pode possuir atributos específicos.
- **Agregação:** relação que permite relacionar um todo com as suas partes.
- **Composição:** relação que identifica subclasses que não podem existir fora da sua superclasse.

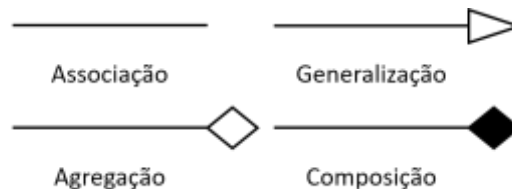


Figura 3.12 – Representação gráfica das relações num diagrama de classes.

Um conceito importante nas relações dos diagramas de classes é o conceito de multiplicidade. Este define limites, superior e inferior, na quantidade de objetos aos quais o outro está associado. Existem múltiplas combinações para representar a quantidade de objetos de cada classe envolvidos numa associação, encontrando-se na Tabela 3.1 os mais comuns (Ramos e Farinha, 2006).

| Tipos de multiplicidades | Significado                |
|--------------------------|----------------------------|
| 0...1                    | Zero ou Um objetos         |
| 1...1                    | Um e apenas um objeto      |
| 0...*                    | Zero ou vários objetos     |
| 1...*                    | No mínimo um objeto        |
| *...*                    | Número infinito de objetos |

### 3.5.2.2 Diagrama de casos de uso

Os diagramas de casos de uso (Figura 3.13) representam as interações entre os utilizadores do sistema e o próprio sistema, possibilitando a deteção de requisitos funcionais do sistema e dependências entre esses mesmos requisitos. Resumidamente, um diagrama de casos de uso mostra como os vários utilizadores devem fazer uso do sistema e mostra de que forma o sistema responde aos diferentes casos de uso (Sousa, 2016).

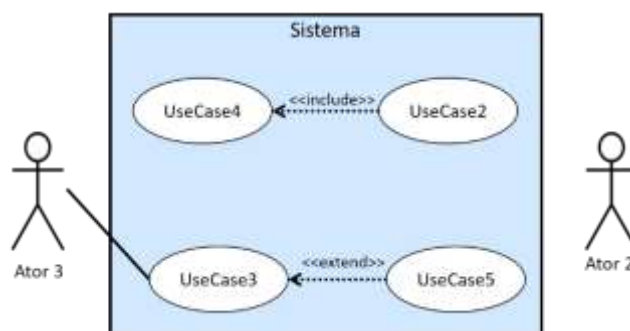


Figura 3.13– Exemplo de representação de um diagrama de casos de uso.

Fonte: Imagem adaptada de Sousa (2016).

Na figura anterior são representados dois importantes conceitos: ator e *user case*. Um ator simboliza um utilizador externo do sistema, que tanto pode ser uma pessoa como outro sistema. Um *user case*, representa um objetivo do sistema, sendo que para o cumprir existe uma sequência de atividades e interações que devem ser realizadas. Os atores e o *user cases*, interagem uns com os outros através de relações de dependência (Sousa, 2016):

- **Relações <<include>>**: relação de obrigatoriedade para qualquer um dos *user case* envolvidos na relação.
- **Relações <<extend>>**: apesar de o *user case* de onde a seta parte depender do outro, o primeiro não é de realização obrigatória.

### 3.5.2.3 Diagramas de atividades

Um diagrama de atividades (Figura 3.14) representa a sequência de atividades de um sistema, permitindo assim modelar aspetos dinâmicos do mesmo (Sousa, 2008, 2016).

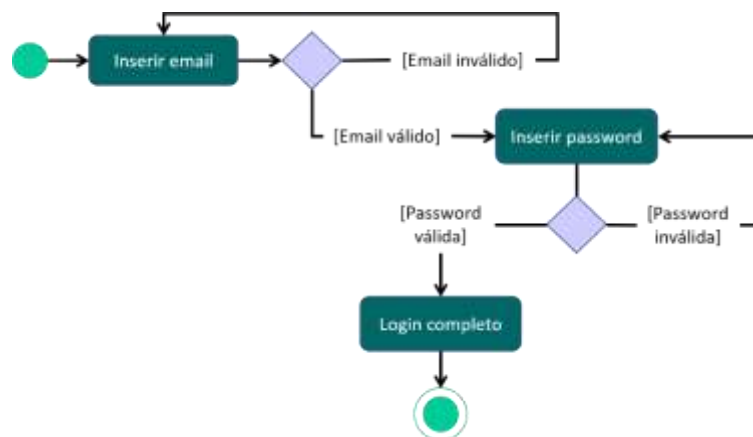


Figura 3.14 – Exemplo de representação de um diagrama de atividades.

Para a construção destes diagramas é utilizada a simbologia presente na Figura 3.15 (Sousa, 2016; UML diagrams, [s.d.]).

- **Nó inicial:** representa o início do processo.
- **Nó de final de fluxo:** termina um fluxo, sem afetar outros fluxos do diagrama.
- **Nó final:** representa o final do processo.
- **Fluxo:** indica a forma como as ações progridem.
- **Nó de Decisão:** este nó aceita um ou dois fluxos de entrada e selecciona um dos fluxos de saída disponíveis.
- **Nó de União:** este nó é responsável por juntar fluxos anteriormente separados num único fluxo de saída.
- **Bifurcação:** divide um fluxo de entrada em vários fluxos de saída que dão origem a atividades que se efetuam em paralelo.
- **Junção:** possui uma função contrária à bifurcação, sendo responsável por unir vários fluxos de entrada num só fluxo de saída.

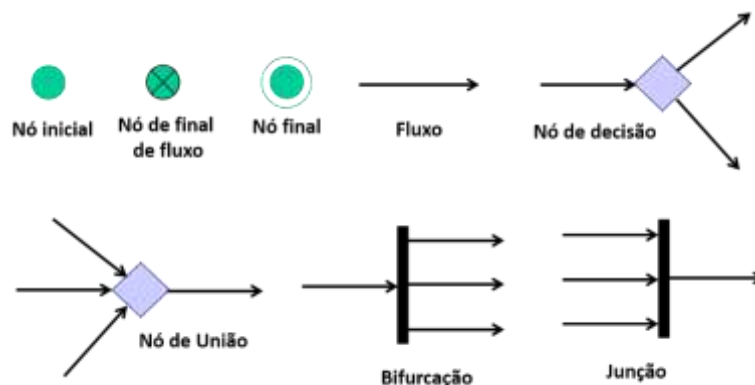


Figura 3.15 – Representação gráfica das relações num diagrama de atividades.

#### 3.5.2.4 Diagrama de seqüências

Os diagramas de seqüência (Figura 3.16), permitem descrever de que forma os objetos interagem entre si ao longo do tempo (Sousa, 2008, 2016).

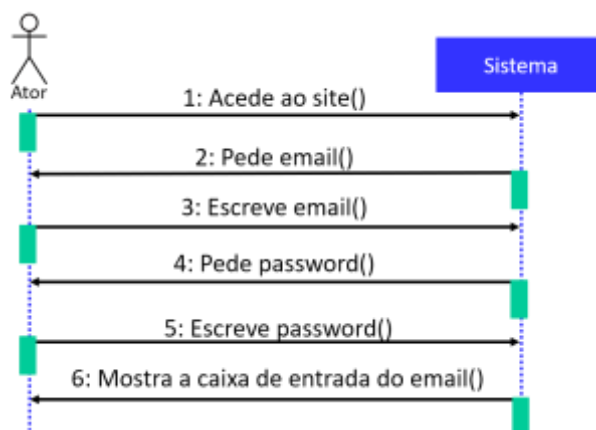


Figura 3.16 – Exemplo de representação de um diagrama de seqüência.

Na construção destes diagramas, começa-se pela identificação dos objetos do sistema, sendo depois escritas as mensagens de interação entre os objetos por ordem cronológica e entre as linhas verticais, de cada objeto (Sousa, 2008).



## 4 Solução proposta e sua implementação

Este capítulo pretende apresentar a solução proposta que permitirá atingir os objetivos definidos para este trabalho e a respetiva implementação.

O capítulo começa por descrever a solução proposta, passando de seguida para a fase do planeamento da manutenção, onde serão escolhidos os parâmetros críticos para futura monitorização.

Seguidamente, apresentam-se o *hardware* e o *software* desenvolvidos para implementar a solução proposta. Por último na parte final do capítulo é apresentado o procedimento desenvolvido para a deteção de padrões de avaria que permitirá à empresa elaborar um planeamento de manutenção preditiva.

### 4.1 Solução proposta

A crescente competitividade obriga as empresas a procurar novas e melhores formas de diminuir os custos globais a elas associadas. Os custos de manutenção são dos mais elevados numa organização, o que leva as empresas a procurar novas metodologias e tecnologias com o intuito de os reduzir.

Este trabalho nasce desta necessidade, propondo para tal, uma solução que permitirá tornar a manutenção mais eficiente e identificar padrões para a previsão de falhas nos equipamentos, antes da sua ocorrência, ou para identificar situações de mau funcionamento que podem levar à ocorrência de uma avaria. Outra característica da solução desenvolvida é o facto de todos os dados obtidos poderem ser consultados em tempo real, em qualquer hora e em qualquer lugar. Na Figura 4.1 é apresentado o esquema da solução que pretende responder aos requisitos mencionados.

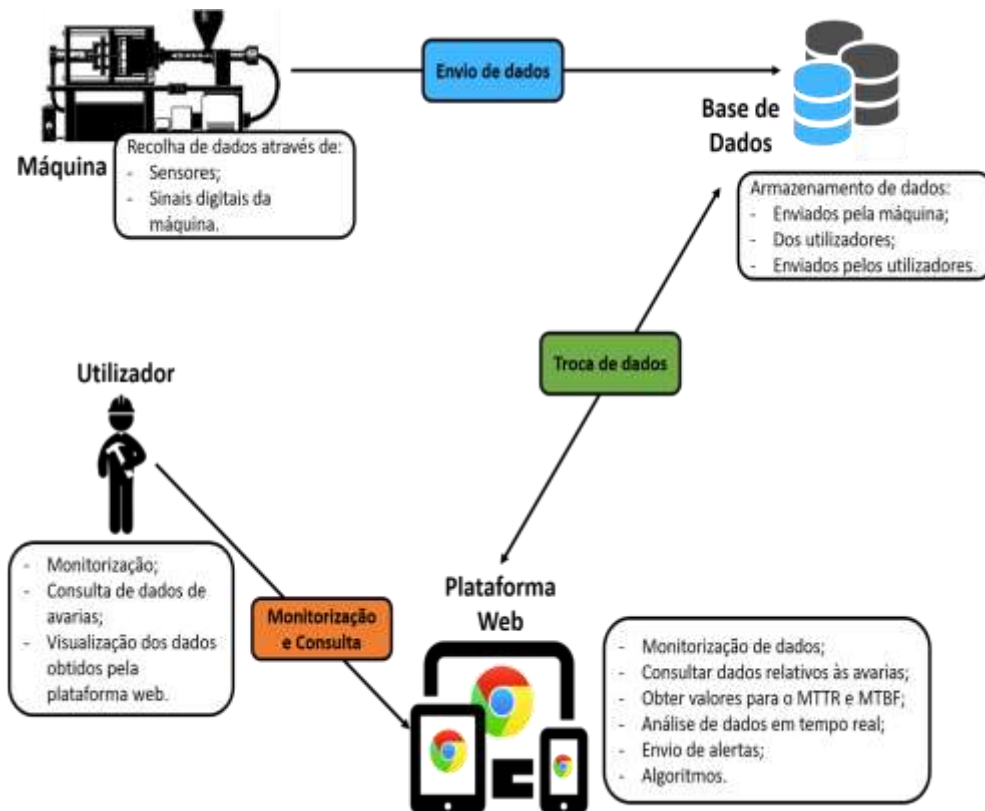


Figura 4.1 – Esquema da Solução Proposta.

A base da solução proposta consiste na recolha de variáveis do processo, através da colocação de novos sensores, ou através da recolha de sinais já fornecidos pela máquina, a partir dos sensores nela já integrados. Na secção 3.1.3, foram apresentadas as variáveis do processo que maior influência tem no processo de moldação por injeção, sendo essas as grandezas de interesse para o sistema a desenvolver. No entanto, independentemente, do tipo de dados recolhidos e da forma como essa recolha é feita, eles devem ser armazenados na base de dados. Os valores armazenados na base de dados serão depois enviados, pelo servidor *web*, à plataforma *web*, onde serão processados.

A plataforma *web* é responsável por interligar os vários utilizadores com a base de dados, através de uma interface *web*. Deste modo, os utilizadores serão capazes de monitorizar, em tempo real e em qualquer lugar, as variáveis mais importantes para o processo, além disso, poderão obter os resultados dos indicadores de desempenho e receber alertas em função dos resultados obtidos pela análise de dados e pelos algoritmos. É importante salientar que a comunicação entre a plataforma *web* e a base de dados é realizada por intermédio de ficheiros PHP, cuja função é ler e escrever na base de dados.

Acentua-se ainda que qualquer pessoa, independentemente da sua função na empresa (operador, técnico de manutenção, engenheiro de produção, entre outras), pode consultar o sistema desenvolvido. No entanto, os dados obtidos serão utilizados pelo departamento de manutenção, com o objetivo de evitar avarias, melhorando assim a produtividade do mesmo.



## 4.2 Planeamento para a implementação da solução

Antes de iniciar a implementação da solução proposta, é preciso que exista um planeamento prévio. Um bom planeamento reduzirá a probabilidade de ocorrerem problemas durante a fase de implementação. Além disso, sendo os recursos disponíveis limitados, um bom planeamento da gestão dos mesmos é vital.

Deste modo, esta secção irá abordar a escolha das variáveis do processo que se pretende monitorizar. A escolha das variáveis será feita através da identificação das mais importantes, consoante a literatura, previamente apresentada na secção 3.1.3, e consoante o plano de manutenção e a listagem de avarias da máquina em questão.

A partir da secção 3.1.3, chega-se à conclusão que as variáveis mais importantes para o processo de moldação por injeção são: a **pressão dentro da cavidade do molde**, a **pressão de injeção**, a **temperatura dentro da cavidade do molde** e a **temperatura de injeção**.

Numa primeira etapa, analisou-se o plano de manutenção preventiva da máquina atualmente realizado pela empresa, com o objetivo de identificar os componentes que devem ser monitorizados com maior frequência. Ao saber quais são estes componentes, podem determinar-se quais as variáveis do processo que mais impacto têm no funcionamento destes. No entanto, o plano de manutenção apresentado requer apenas duas intervenções de manutenção uma vez por ano, uma delas para completar a *checklist* presente no Apêndice C, e outra para detetar fugas no equipamento, realizada por uma empresa externa. Consequentemente, não foi possível identificar os fatores mais críticos a partir do plano de manutenção atual.

Com o intuito de contornar este obstáculo, consultou-se o manual técnico da máquina para encontrar o plano de manutenção recomendado pelo fabricante do equipamento. A partir deste plano, que é apresentado no Apêndice D, identificam-se quatro componentes que devem ser verificados a cada oito horas:

- **Dispositivos de segurança:** a verificação dos dispositivos de segurança consiste em averiguar se estes se encontram a funcionar corretamente.
- **Nível de óleo hidráulico:** verificar se o nível de óleo hidráulico é superior a um nível mínimo estipulado.
- **Nível de óleo lubrificante:** verificar se o nível de óleo lubrificante se encontrar entre um valor máximo e um valor mínimo estipulados.
- **Termopares:** a verificação dos termopares consiste em averiguar se os valores medidos pelos termopares da máquina estão ou não corretos.

Uma vez identificados os fatores mais críticos, através do plano de manutenção, analisou-se a listagem de avarias da máquina, de forma a identificar quais as causas de avaria mais comuns ou quais as causas mais significativas para a manutenção (esta identificação é feita com o auxílio dos técnicos de manutenção da empresa que lidam diariamente com a máquina em questão). Sabendo isto, pode determinar-se quais as variáveis ou fatores que têm maior impacto, e que, por essa razão, devem ser monitorizados.

Na Tabela E.1 do Apêndice E, é apresentada a listagem completa de avarias da máquina entre 20 de setembro de 2015 e 7 de maio de 2018. Na análise desta listagem, o primeiro passo consistiu na divisão das várias avarias, consoante a sua tipologia (por exemplo, avarias relacionadas com a temperatura, com pressões, com fugas entre outras), e na eliminação das avarias cujas causas são desconhecidas, obtendo-se assim, a Tabela E.2. Concluiu-se assim que as tipologias com maior frequência e prioridade são a pressão, a temperatura e os filtros. No que toca à pressão, não se identificam variáveis do processo que possam ter influência nas avarias verificadas. No caso da temperatura, variáveis como a **temperatura na cavidade do molde**, o **perfil de temperaturas do cilindro** e a **temperatura de injeção**, podem influenciar algumas das avarias detetadas (por exemplo, avarias 15, 14 e 17 da Tabela E.2, respetivamente). As avarias relacionadas com os filtros são identificadas através de alarmes ativados pela máquina, não estando relacionados com nenhuma das variáveis do processo identificadas inicialmente.

Assim, após terminar toda a análise anterior, concluiu-se que as variáveis do processo de maior interesse seriam o perfil de **temperaturas dentro da cavidade do molde** e a **temperatura de injeção**. No entanto, devido ao risco de interferência nos sinais da máquina, pela recolha em paralelo dos mesmos e, devido à impossibilidade de colocar novos sensores no interior da cavidade do molde, optou-se por, alternativamente, monitorizar o **perfil de temperaturas ao longo do cilindro** e a **temperatura de injeção**. Para além disso, também será medido o tempo de produção da máquina, com o intuito de utilizar esse valor para o cálculo dos indicadores de desempenho.

Durante o planeamento, observou-se que a descrição das avarias apresentada era feita de forma dispersa (em dois *softwares* diferentes) e ineficaz, o que dificulta em grande nível, ou restringe por completo, a identificação das causas das mesmas. Não havendo descrição das avarias e identificação das suas causas, torna-se difícil saber que componentes da máquina, ou variáveis do processo, devem ser monitorizados. Para solucionar este problema, optou-se por criar uma página na plataforma *web* para registo das avarias e das suas causas raiz. Esta página *web* irá também servir para identificar o técnico de manutenção que procedeu à reparação e a duração da mesma, o que vai de encontro a um dos requisitos proposto pela empresa para o presente trabalho em causa.

Além do problema anterior, também se verificou que o plano de manutenção preventiva recomendado pelo fabricante não era cumprido. Isto leva a que problemas como, por exemplo, fugas de óleo não sejam detetadas antecipadamente, o que poderia ser impedido se a manutenção recomendada fosse realizada como proposto. Assim, será também criada uma página na plataforma *web* que auxiliará, pelo menos, no cumprimento da manutenção dos componentes que devem ser verificados a cada oito horas.

Durante esta fase, verificou-se ainda que na produção são utilizados diferentes moldes e diferentes matérias-primas, o que implica diferentes temperaturas de injeção e ao longo do cilindro, consoante o molde e a matéria-prima utilizados. Por esta razão, será ainda necessário desenvolver uma página na plataforma que permita aos técnicos indicar que molde se encontra em produção na respetiva máquina. Salienta-se que não será necessário indicar a matéria-prima, uma vez que, um molde só utiliza um tipo de matéria-prima. A informação fornecida por esta página permitirá a criação de alertas caso as temperaturas medidas estejam fora dos valores estipulados.

Esta nova estrutura que permite o registo de avarias e a verificação de alguns componentes do equipamento, cria a necessidade de controlar os acessos, com o intuito de saber quem realiza os registos e as verificações, assim como para aceder aos resultados das mesmas. Neste sentido, os utilizadores da plataforma passariam a ter níveis de acesso diferentes, o que leva ao desenvolvimento de um novo esquema da solução proposta. Neste novo esquema, apresentado na Figura 4.2, estão presentes os três diferentes níveis de acesso: o administrador, o técnico e o colaborador.

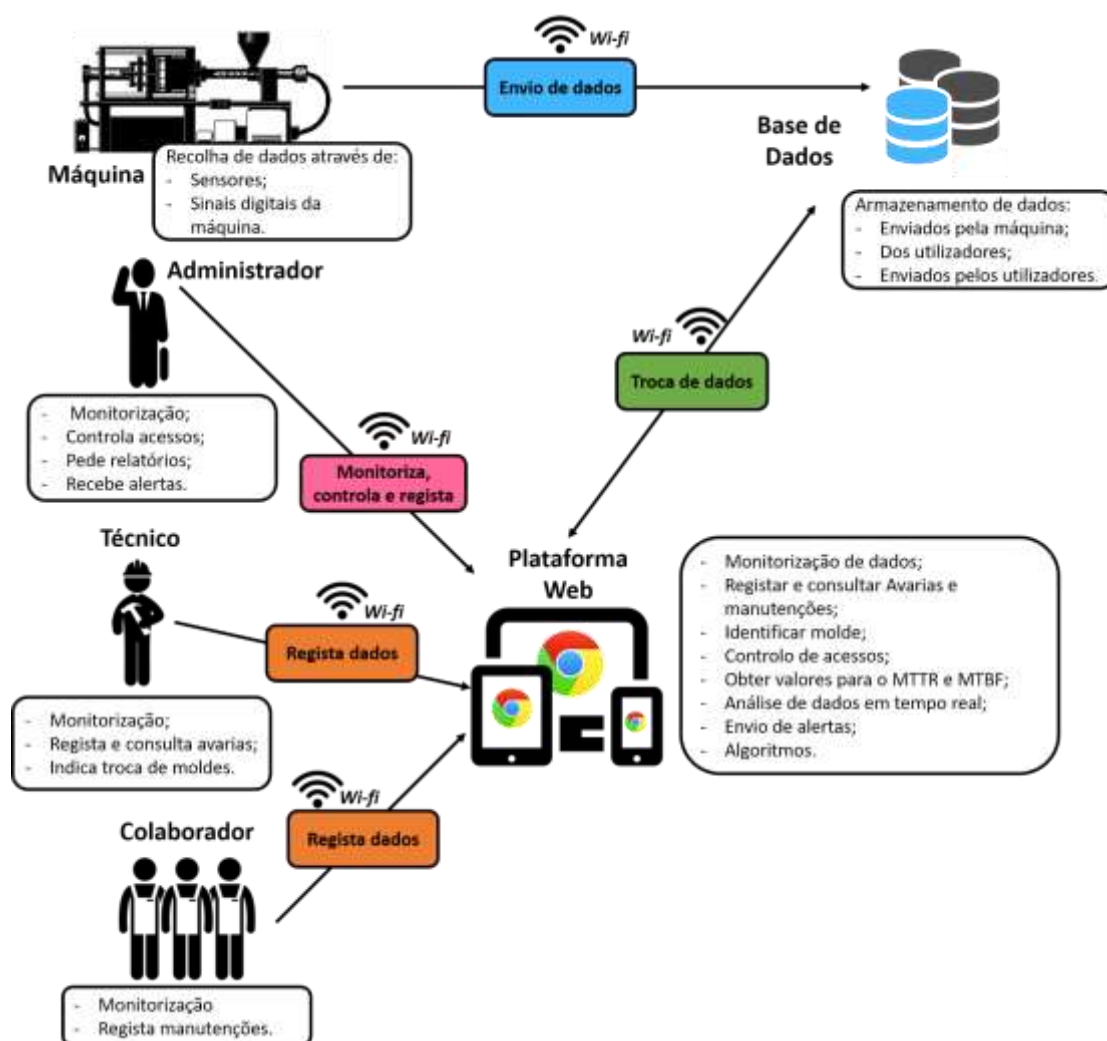


Figura 4.2 – Esquema final da solução proposta.

É ainda importante referir que o *Wi-fi* foi o meio de comunicação escolhido para realizar as comunicações, sendo este também apresentado na Figura 4.2. Desta forma, qualquer dispositivo ligado à rede *Wi-fi* da empresa e que possua um *browser web* consegue aceder à plataforma.

## 4.3 *Hardware* implementado

O desenvolvimento do *hardware* é um processo que envolve a escolha e dimensionamento dos componentes que vão construir o sistema proposto. Envolve também, a elaboração de esquemas elétricos de forma a expor as ligações entre os vários componentes. Previamente à escolha dos componentes, foi realizado um levantamento de requisitos essenciais ao *hardware*, sendo eles os seguintes:

- Baixo Custo;
- Dimensões reduzidas;
- Interpretar, simultaneamente, sinais analógicos e digitais.
- Robustez.

Partindo destes requisitos são escolhidos os vários componentes que compõem a solução final, sendo estes identificados seguidamente. Salienta-se ainda que no final deste subcapítulo serão apresentados o esquema elétrico e a placa de circuito impresso (PCB – *Printed Circuit Board*) desenvolvidos para a solução final.

### 4.3.1 NodeMCU ESP8266-12E

Para recolher os valores da máquina e enviá-los para a base de dados, o dispositivo escolhido foi o NodeMCU. Para além do baixo custo e das dimensões reduzidas, são várias as características que levaram à escolha deste equipamento.

A placa NodeMCU é composta por um microcontrolador ESP8266-12E e por uma porta micro-USB. O microcontrolador ( $\mu C$ ) possui uma *shield Wi-fi* embutida, o que lhe permite ligar ao router da empresa, enviando os dados recolhidos de forma fácil e rápida. A porta micro-USB permite, não só a programação do microcontrolador, como também a sua alimentação. Este último é alimentado com 5V pela ligação à porta USB do computador, ou pela ligação a uma tomada elétrica por intermédio de um pequeno transformador. Para além disto, possui igualmente vários pinos digitais e um pino analógico, o que está de acordo com os requisitos anteriormente apresentados.

Na Figura 4.3 é apresentado o “mapeamento” dos pinos da placa NodeMCU, enquanto que na Figura 4.4 é apresentado o microcontrolador ESP8266 e o “mapa” de pinos do microcontrolador ESP8266-12E.

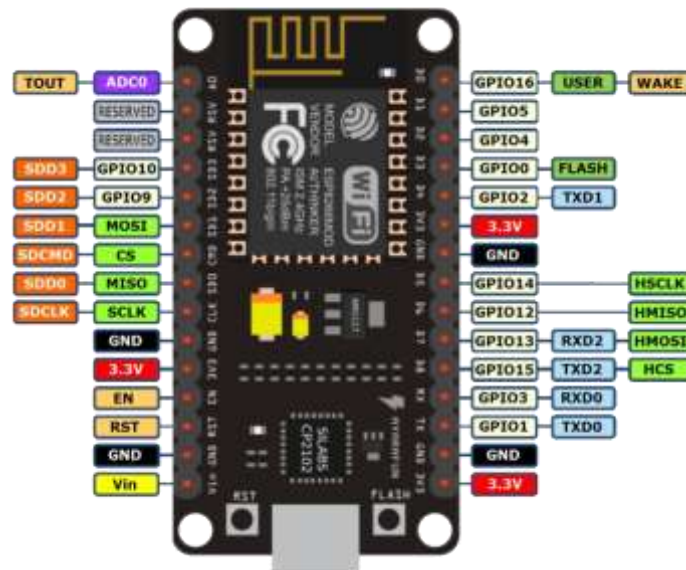


Figura 4.3 – Mapeamento dos pinos da placa NodeMCU.

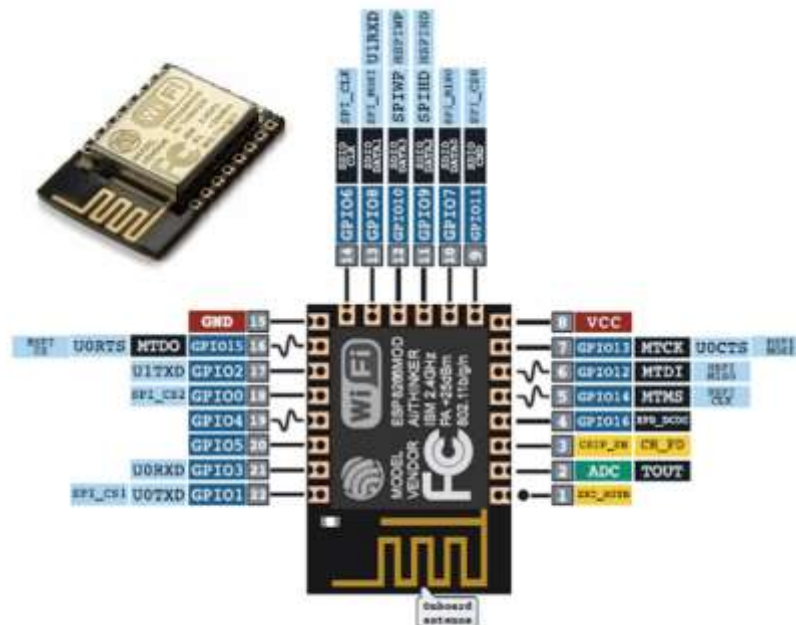


Figura 4.4 – ESP8266-12E e o seu “mapa de pinos”.

Seguidamente são apresentadas outras características desta placa (Currey, 2017):

- Norma *wireless* IEEE 802.11 b/g/n que suporta WPA ou WP2;
- Memória RAM: 96 KBytes para dados e 64 KBytes para instruções;
- Memória Flash: 4 MBytes;
- Conversor analógico digital (ADC);
- Suporta conexões TCP/IP;
- Portas GPIO: 16;
- GPIO com funções de PWM (*Pulse Width Modulation*), I<sup>2</sup>C (*Inter-Integrated Circuit*), SPI (*Serial Peripheral Interface*), entre outros.



### 4.3.2 Circuito Integrado MAX6675

Para medir as temperaturas pretendidas são colocados três termopares do tipo K nos locais apresentados na Figura 4.5.

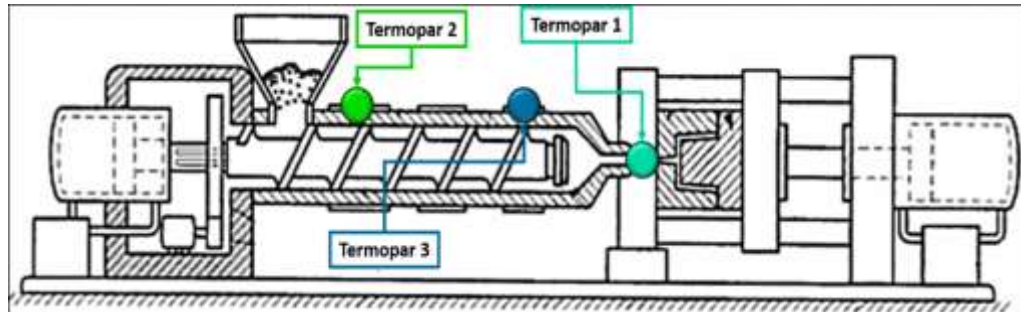


Figura 4.5 – Localização dos sensores de temperatura na máquina de injeção.

No entanto, como o nível de tensão gerado por cada termopar é muito baixo, na ordem dos  $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , o microcontrolador não consegue interpretar esse nível de tensão. Nesse sentido, é necessário utilizar um amplificador operacional, para amplificar os valores da tensão de cada termopar, e um circuito para filtrar os ruídos.

Para obter o valor da temperatura real da junta quente, é necessário compensar a diferença entre a junta fria do termopar e uma referência virtual de  $0^\circ\text{C}$ . A esta técnica de compensação dá-se o nome de compensação de junta fria. A compensação de junta fria consiste na conexão de um sensor de temperatura (termopar ou outro) ao ponto frio (junta fria), que irá ler a temperatura ambiente e, seguidamente, converter essa leitura no valor de tensão correspondente. Ao valor de tensão obtido nos terminais do termopar, é subtraída a tensão correspondente à temperatura ambiente, obtendo-se assim o valor da temperatura da junta quente (temperatura pretendida), sem que este seja influenciado pelas variações na temperatura ambiente. Na Figura 4.6, é apresentada a técnica da compensação da junta fria, sendo importante notar que se esta técnica não fosse aplicada o valor da variável  $T_{medida} = 280^\circ\text{C}$ , o que possui um erro de  $20^\circ\text{C}$  ( $T_{ambiente}$ ) em relação ao valor real ( $T_{real}$ ).

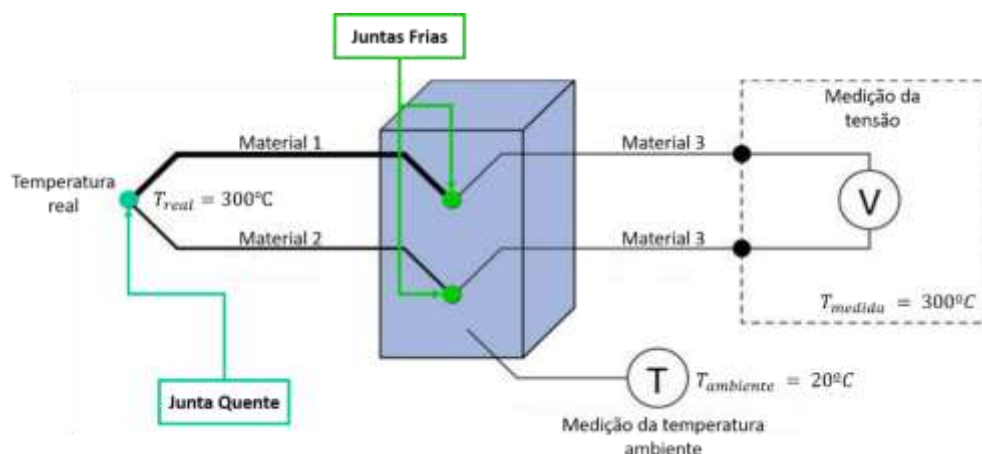


Figura 4.6 – Compensação de junta fria.

Resumidamente, para se medir o valor da temperatura e para que este seja interpretado pelo microcontrolador, é necessário utilizar um amplificador operacional, um

circuito para filtragem dos ruídos e um sensor de temperatura para realizar a compensação da junta fria (Avelas, 2018). Nessa perspectiva, decidiu-se utilizar o circuito integrado MAX6675, que permite amplificar, filtrar e compensar o valor da tensão gerada por um termopar do tipo K. Para além disso, o MAX6675 converte, usando 12 bits, o somatório da tensão dada por um díodo (sensor de temperatura para realizar a compensação da junta fria) com a tensão medida no termopar no valor de temperatura correspondente, através de um conversor analógico-digital. Este valor é depois enviado segundo o protocolo SPI, para uma entrada digital do microcontrolador. Este dispositivo é capaz de medir valores de temperatura entre 0°C e 1024°C, com uma resolução de 0,25°C (Avelas, 2018)

O MAX6675 comunica com o microcontrolador através do protocolo SPI, o que obriga à existência de um pino para sincronizar o envio de dados (SLK – pino de *Clock*), um para enviar dados (SO – pino de dados) e um pino para seleccionar o MAX6675 (CS – pino *Chip Select*). Uma vez que existem três dispositivos MAX6675, é necessário que existam três pinos para seleccionar o equipamento, isto é, um pino *Chip Select* para cada MAX6675. Pelo contrário, o pino de *Clock* e o pino de dados podem ser os mesmos para os três MAX6675. Para ilustrar as ligações entre os três circuitos integrados MAX6675 e o microcontrolador, é apresentado na Figura 4.7 um esquema das mesmas.

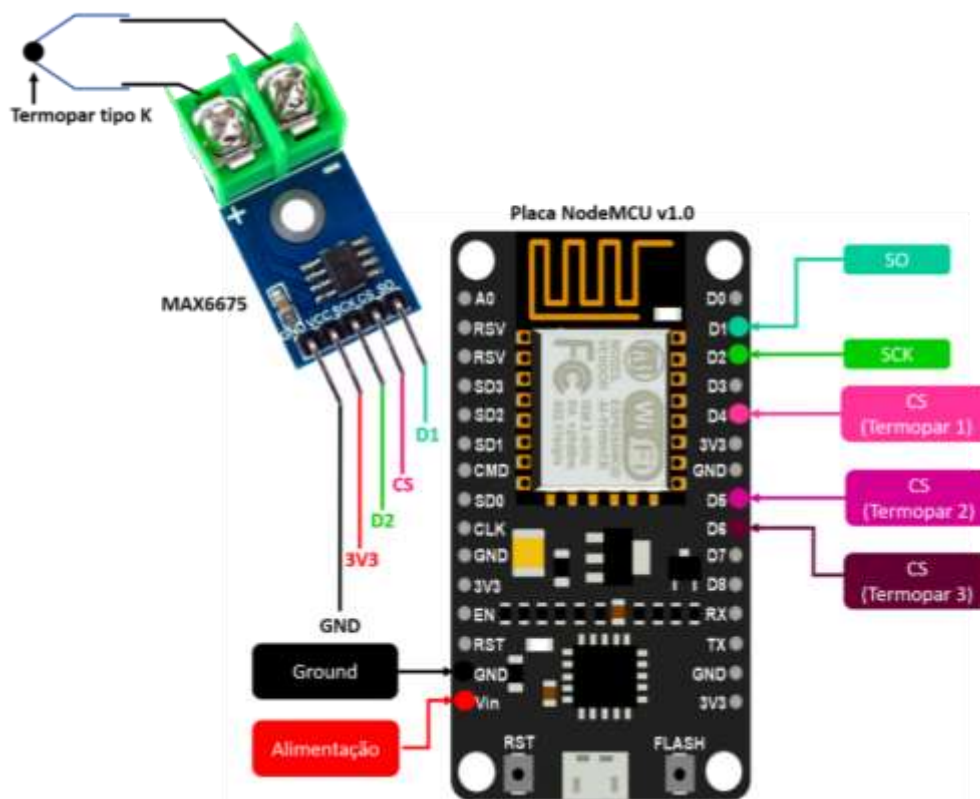


Figura 4.7 – Esquema ilustrativo das ligações entre o termopar, o circuito integrado MAX6675 e o microcontrolador.

### 4.3.3 Sensor de pressão

Durante o desenvolvimento deste trabalho, decidiu-se adicionar um sensor de pressão, para medir a pressão de injeção, como mostra na Figura 4.8. O sensor de pressão

utilizado é o sensor Wika modelo S-10, que mede pressões entre os 0 e os 400bar e tem uma tensão de saída entre 0 e 10V (WIKI Instrument Corporation, 2016).

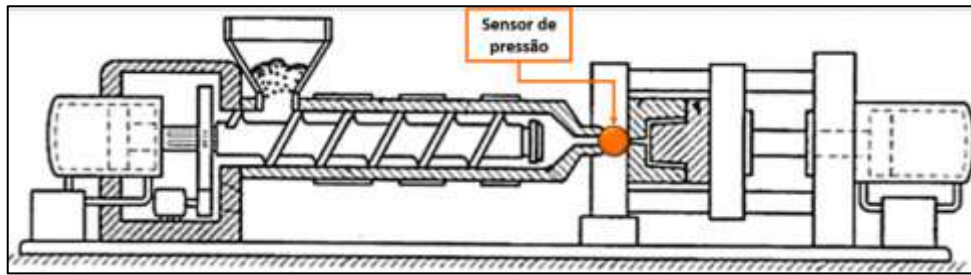


Figura 4.8 – Localização dos sensores de pressão na máquina de injeção.

Apesar do sensor referido medir pressões entre 0 e 400bar, a máquina utilizada no âmbito do trabalho nunca ultrapassa os 130bar. Nesse sentido, todos os cálculos realizados terão em conta que a pressão máxima dada pelo sensor será de 130bar, o que implica que a tensão máxima de saída deixa de ser 10V e, segundo a equação (9), passa a ser 3,25V.

$$V_{in}(máxima) = \frac{P_{máquina}(máxima) \times V_{sensor}(máxima)}{P_{sensor}(máxima)} = \frac{130bar \times 10V}{400bar} = 3,25V \quad (9)$$

Sendo que a entrada analógica do microcontrolador condiciona as tensões ao nível do conversor analógico-digital, que neste caso é entre 0 e 3,15V (valor medido experimentalmente no microcontrolador utilizado) decidiu-se colocar um divisor resistivo, para reduzir a tensão à entrada do pino analógico (A0) do microcontrolador, e um filtro passa-baixo de 1ª ordem para filtrar os ruídos indesejados.

O divisor resistivo e o filtro são apresentados no circuito da Figura 4.9. Para ilustrar as ligações do circuito anteriormente mencionado com o microcontrolador é apresentado na Figura 4.10 o esquema das mesmas.

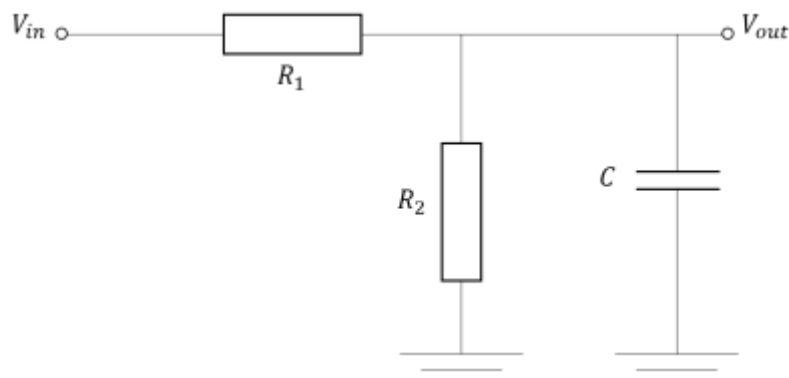


Figura 4.9 – Divisor resistivo e filtro passa-baixo para o sensor de pressão.



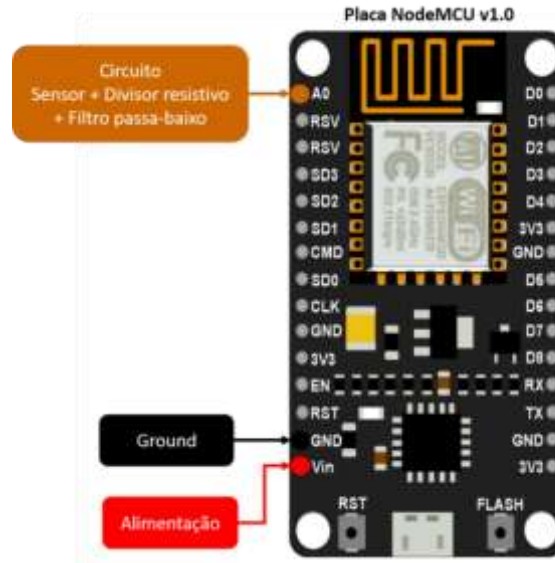


Figura 4.10 – Esquema ilustrativo das ligações entre o Circuito Sensor + Divisor resistivo + Filtro passa-baixo e o microcontrolador.

Para calcular o valor das resistências do divisor resistivo utiliza-se a equação (10). A partir desta equação, escolheu-se para  $R_1$  uma resistência de  $38k\Omega$  e para  $R_2$  uma resistência de  $10k\Omega$ . Assim, se  $V_{in}$  for igual ao valor máximo ( $3,25V$ ) o valor de  $V_{out}$  seria de  $0,677V$ .

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (10)$$

O filtro passa-baixo permite que as baixas frequências sejam transmitidas para a entrada analógica do microcontrolador e impede a transmissão de sinais com uma frequência maior que a frequência de corte. Assim, ao definir um valor adequado para a frequência de corte, atenuam-se os ruídos existentes e deixa-se passar, o mais inalterado possível, o sinal de pressão medido pelo sensor. Tendo em conta que a frequência da rede, a que os equipamentos se encontram ligados, é de  $50Hz$ , decidiu-se adotar este valor para a frequência de corte.

Para além, da frequência de corte, os valores escolhidos para as duas resistências também influenciam o valor do condensador a utilizar. Assim sendo, uma vez que  $R_1$  está em paralelo com  $R_2$ , calcula-se o valor da resistência equivalente segundo a equação (11).

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{38 \times 10}{38 + 10} = 7,9k\Omega \quad (11)$$

Considerando a frequência de corte igual a  $50Hz$  determina-se a partir da equação (12), que o valor do condensador é de  $0,4\mu F$ .

$$C = \frac{1}{2\pi \times f_c \times R_{eq}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 7,9 \times 10^3} = 0,4\mu F \quad (12)$$

O sinal recebido na entrada analógica é convertido, pelo conversor analógico-digital, num número entre 0 e 1024 (conversão com 10bits de resolução). Se à entrada do microcontrolador se tem a máxima tensão possível, ou seja  $3,15V$ , o resultado recebido após

a conversão é 1024. Assim sendo, para obter o valor da tensão medido através do número recebido após a conversão, utiliza-se a equação (13).

$$\text{Tensão}_{\text{entrada } \mu\text{C}} = \frac{\text{número recebido entre 0 e 1024} \times 3,15\text{V}}{1024} \quad (13)$$

Para verificar de que forma varia a pressão em função da temperatura, mediram-se os valores de tensão à entrada no microcontrolador ( $\text{Tensão}_{\text{entrada } \mu\text{C}}$ ), para pressões entre 40 e 130bar, sendo o resultado o gráfico da Figura 4.11.

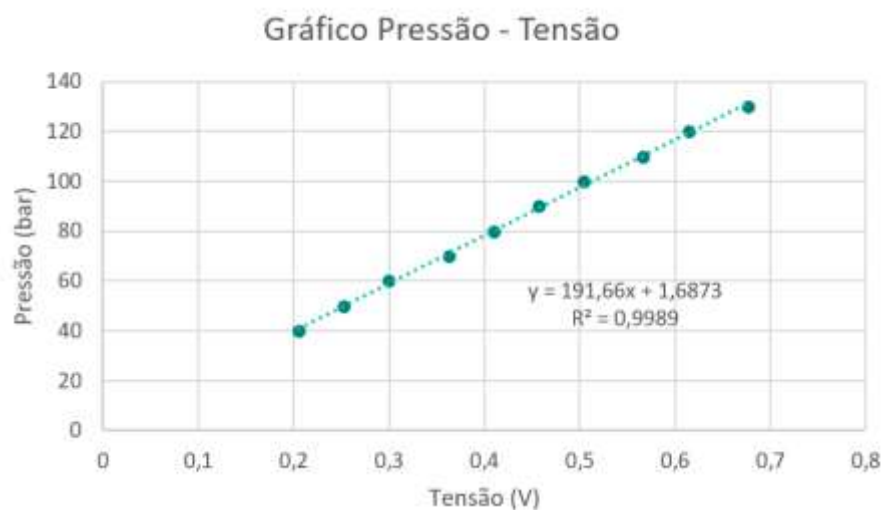


Figura 4.11 – Gráfico da relação Pressão-Tensão.

Pelo gráfico apresentado anteriormente conclui-se que a pressão e a tensão aumentam de forma linear, sendo a relação de proporcionalidade entre elas dada pela equação (14). A partir desta relação, o microcontrolador obtém o valor da pressão a que a máquina se encontra num determinado instante de tempo.

$$\text{Pressão} = 191,66 \times \text{tensão}_{\text{após divisão}} + 1,6873 \quad (14)$$

Na Figura 4.12 é apresentado o código do microcontrolador para ler o valor da entrada analógica A0, para converter o resultado da conversão em tensão e, por último, para obter o valor da temperatura a partir da tensão.

```
// Resultado da conversão analógico-digital (número entre 0 e 1024)
unsigned int valor = analogRead(A0);

// Conversão do valor da entrada analógica em tensão
float tensao = (float)valor * (3.15/1024);

// Valor de pressão calculado através da tensão
float pressao= (191.66 * tensao)+1.6873;
```

Figura 4.12 – Código para obtenção do valor de pressão a partir do  $\mu\text{C}$ .

#### 4.3.4 Número de ciclos

O número de ciclos da máquina é medido através de um sinal digital emitido pela mesma. Quando a máquina inicia um novo ciclo, o sinal digital toma o valor “1”, mantendo-se com este valor até que o ciclo termine. Uma vez terminado o ciclo, o sinal passa a tomar o valor “0”, até que se inicie novamente um novo ciclo de produção.

Para medir este número, foi, inicialmente, utilizado o mesmo microcontrolador usado para a medição da temperatura e pressão. No entanto, devido ao curto tempo de ciclo, por vezes não era detetado o instante de alteração do sinal de “0” para “1” e vice-versa. Assim sendo, utilizou-se outro microcontrolador para recolher apenas o valor deste sinal num intervalo de tempo inferior ao ciclo.

Uma vez que o sinal digital medido atinge uma tensão de 24V, não pode ser diretamente ligado à entrada do microcontrolador. Para tal, é proposto o circuito da Figura 4.13 que permite isolar eletricamente a parte da potência do circuito (máquina), da parte do microcontrolador.

Uma vez que o sinal digital medido atinge uma tensão de 24V não pode ser diretamente ligado à entrada do microcontrolador. Para tal, é proposto o circuito da Figura 4.13 que permite isolar eletricamente a parte da potência do circuito (máquina) da parte do microcontrolador.

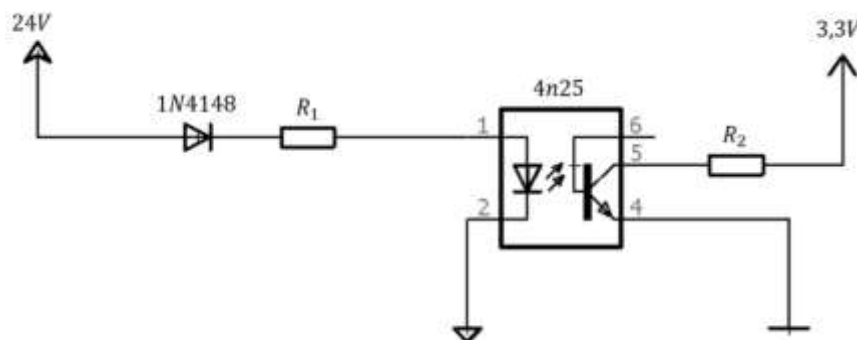


Figura 4.13 – Circuito para a contagem do número de ciclos.

O circuito apresentado na figura anterior é constituído por um díodo (1N4148), duas resistências ( $R_1$  e  $R_2$ ), um optoacoplador (4n25). O optoacoplador tem como função isolar eletricamente o circuito, dividindo assim o mesmo em duas partes, a do lado esquerdo que corresponde à máquina e a do lado direito que correspondente ao microcontrolador.

Para calcular o valor da resistência  $R_1$  é necessário saber o valor da tensão e da corrente no lado esquerdo do circuito. Neste lado do circuito existem dois díodos, o 1N4148 e o díodo do optoacoplador, significando isto que em cada um ocorre uma perda de tensão de, aproximadamente, 0,7 V e 1,2V, respetivamente. No que toca ao valor da corrente, este é limitado pela corrente máxima de entrada do optoacoplador que, de acordo com o seu *datasheet* (Vishay intertechnology, 2010), não pode ser superior a 60mA. Assim considerando uma corrente no lado esquerdo igual a 30mA, determina-se que o valor da resistência  $R_1$  deve ser igual a 720 $\Omega$  (Lei de Ohm, equação (15)).

$$R_1 = \frac{24 - 0,7 - 1,2}{30 \times 10^{-3}} = 737\Omega \quad (15)$$

Para calcular o valor da tensão no lado direito assume-se que o transistor da optoacoplador se encontra em saturação, o que implica que a tensão entre o coletor e o emissor seja, aproximadamente, 0,2V. O valor da corrente de saída do optoacoplador é de 50mA segundo o *datasheet* do mesmo (Vishay intertechnology, 2010). Assim sendo, pela equação (16), obtém-se que o valor ideal para a resistência  $R_2$  é de 62Ω, considerando que o microcontrolador possui uma tensão de saída de 3,3V.

$$R_2 = \frac{3,3 - 0,2}{50 \times 10^{-3}} = 62\Omega \quad (16)$$

No entanto, os valores obtidos para as resistências não existem a nível comercial, logo escolheram-se valores superiores aos calculados. Assim a resistência  $R_1 = 1k\Omega$  e  $R_2 = 100\Omega$ .

Na Figura 4.14, é apresentado um esquema das ligações entre o microcontrolador e o circuito que permite contar o número de ciclos da máquina (Figura 4.13).

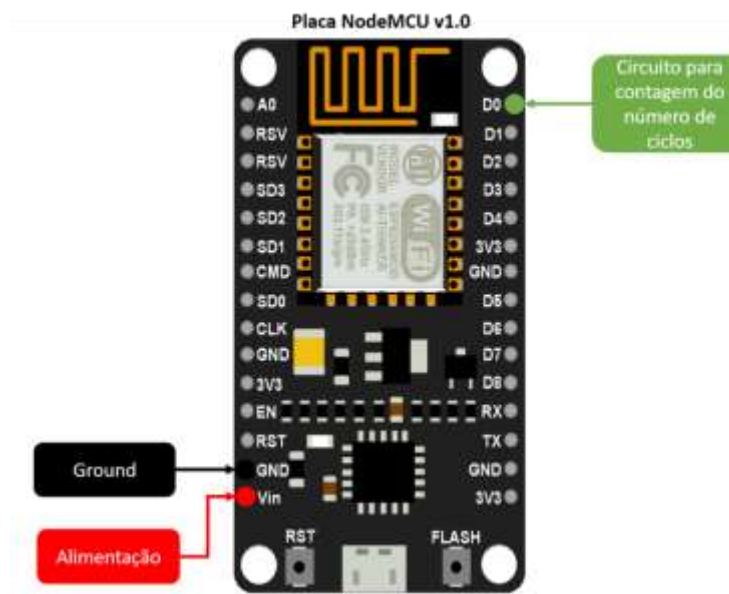


Figura 4.14 – Esquema ilustrativo das ligações entre o microcontrolador e o circuito de contagem de ciclos.

#### 4.3.5 Placas de circuito impresso

Com o intuito de aproximar a solução desenvolvida de uma solução real, procedeu-se ao desenvolvimento das placas de circuito impresso (PCB). Estas placas permitem obter uma solução mais robusta, uma vez que eliminam a necessidade de possuir fios exteriores a ligar os vários componentes. Para este trabalho foram desenvolvidas duas placas PCB utilizando o *software* Eagle da Autodesk:

- Placa para alimentação dos dispositivos MAX6675, do sensor de pressão e do microcontrolador que recolher os dados de temperatura e pressão (Figura 4.15).
- Placa para medir o tempo de produção da máquina (Figura 4.16).

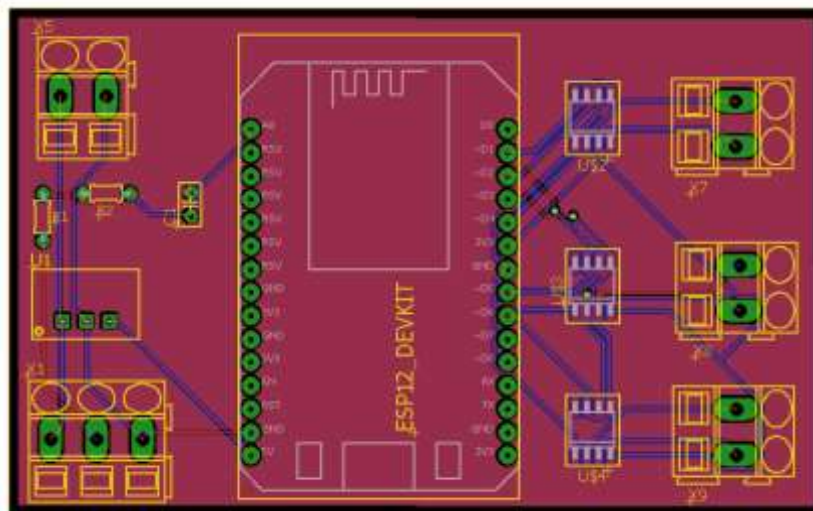


Figura 4.15 – Placa PCB para alimentação dos dispositivos MAX6675 e do sensor de pressão.

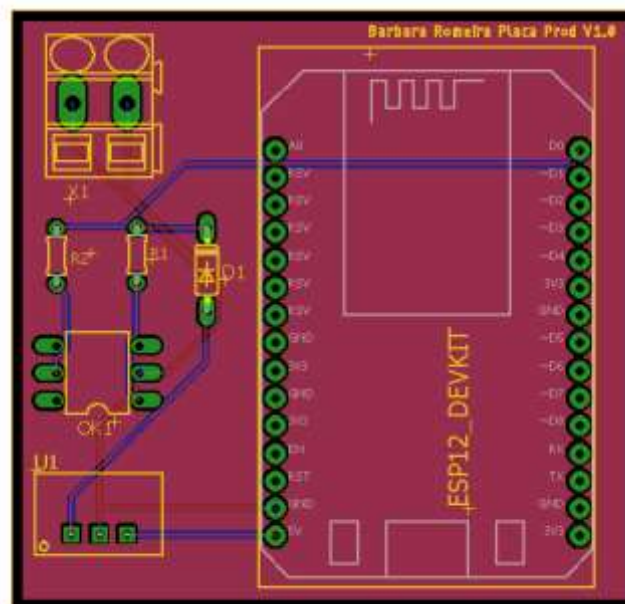


Figura 4.16 – Placa PCB para a medição do tempo de produção.

Ambas as placas são alimentadas a partir dos 24V fornecidos pela máquina, o que obriga à utilização de um regulador de tensão, mais especificamente o dispositivo tsr 1-2450, para converter os 24V em 5V, sendo estes utilizados para alimentar o microcontrolador de cada placa. O sensor de pressão é alimentado através dos 24V da máquina, enquanto os dispositivos MAX6675 são alimentados através dos 3.3V que vêm do microcontrolador.

## 4.4 *Software* desenvolvido

Nesta secção, será apresentado todo o *software* desenvolvido para este trabalho. Desta forma, esta secção será composta por uma descrição sobre a base de dados do sistema, pela explicação detalhada das várias páginas que constituem a plataforma *web* desenvolvida,

e ainda pelo programa desenvolvido para a programação do microcontrolador responsável pela recolha de dados da monitorização e pelo seu envio para a base de dados.

#### 4.4.1 Desenvolvimento da Base de dados

Uma base de dados consiste numa coleção de dados organizados. Esta permite gerir e armazenar todos os dados relevantes e necessários, facilitando a sua organização e pesquisa. Para gerir e armazenar as tabelas de uma base de dados, são usados sistemas de gestão de bases de dados (SGBD). Os SGBDs processam as mensagens escritas pela linguagem SQL (*Structured Query Language*) e, consoante as mensagens recebidas, manipulam e pesquisam os dados.

Segundo o modelo relacional, uma base de dados consiste num conjunto de tabelas relacionadas entre si. Nestas tabelas, as linhas são designadas de **registos** ou **túplos** e as colunas são conhecidas como **atributos** ou **campos**. O número de atributos de uma tabela define o **grau** da relação e o número de linhas de uma tabela indica a **cardinalidade** da relação (Santos, 2015).

No projeto de uma base de dados, é necessário conhecer conceitos como determinante, chave candidata, chave primária, chave estrangeira e normalização.

- **Determinante:** conjunto de atributos que identifica de forma única dois registos distintos.
- **Chave candidata:** atributo ou conjunto de atributos que identifica inequivocamente todo e qualquer atributo, sendo obtidas a partir da simplificação dos determinantes.
- **Chave primária:** atributo ou conjunto de atributos que identifica de forma única um único registo, sendo obtida a partir das chaves candidatas.
- **Chave estrangeira:** atributo ou conjunto de atributos que são chaves primárias de outras tabelas.
- **Normalização:** processo que consiste na subdivisão da relação universal em diversas relações com menor grau e cardinalidade, o que permite remover dados duplicados e redundantes da base de dados.

Aquando o desenvolvimento da base de dados, existem requisitos que devem ser cumpridos, sendo esses enumerados seguidamente:

- A base de dados deve ser capaz de armazenar todos os dados necessários.
- Evitar a existência de dados duplicados e eliminar dados redundantes. Este tipo de dados ocupa espaço na base de dados e não acrescenta qualquer valor à mesma.
- Reduzir o mais possível, o número de relações que constituem a base de dados.
- Normalizar as relações da base de dados de forma a evitar problemas na gestão da base de dados (problemas na inserção, remoção e atualização de dados).

Neste trabalho, a base de dados será responsável pelo armazenamento contínuo de dados e pelo controlo de acessos. Dessa forma, torna-se indispensável proceder à normalização da mesma, impedindo assim os problemas anteriormente mencionados. Na



Figura 4.17, é apresentada a lista de atributos necessários para o funcionamento da solução a implementar.



Figura 4.17 – Atributos para a construção da base de dados.

A fim de obter e representar uma base de dados normalizada, existem diversos métodos como, por exemplo, diagramas de dependências funcionais (DDF), diagramas de classes (UML) e diagramas de entidade/relação (DER). Com o intuito de verificar se o resultado obtido por métodos diferentes é o mesmo ou, pelo menos similar, procedeu-se à normalização da base de dados, usando diagramas de dependências funcionais e diagramas de classes.

Uma vez usados estes dois métodos, optou-se por apresentar aqui só o diagrama de classes, encontrando-se o Diagrama de dependências funcionais, explicado na íntegra, em anexo (Apêndice F), onde pode ser consultado.

#### 4.4.1.1 Diagrama de classes (UML)

Uma das maneiras de realizar a normalização de uma base de dados é através do diagrama de classes. Como explicado na secção 3.5.2.1, o primeiro passo necessário ao desenvolvimento é a identificação das classes e seus atributos.

A classe mais simples, e que será a mais óbvia, corresponde à classe *Login*. Nesta classe são armazenados os dados dos vários utilizadores, como *Username*, *Passwords* e *Estatutos*, correspondendo estes três tipos de dados aos atributos da classe *Login*.

Outra classe, é a classe Máquina. Esta classe divide-se em duas classes “filhas”, a classe Variáveis e a classe Estado. Ser uma classe filha significa que herdam os atributos da classe mãe (Classe Máquina) mas que também podem ter atributos particulares. Assim, a classe Máquina identifica as várias máquinas, a classe Variáveis é composta pelos valores recolhidos dos sensores de temperatura e de pressão, e a classe Estado armazena o valor do sinal que indica se a máquina se encontra ou não em produção. De forma a resumir o que foi explicado anteriormente, a Figura 4.18 apresenta todos os atributos de cada classe em particular.



Figura 4.18 – Atributos particulares da classe Máquina, classe Variáveis e da classe Estado.

Explicando cada um dos atributos têm-se que:

- **IDmáquina:** número que distingue os vários equipamentos. Este atributo, como se pode verificar pela Figura 4.18, é herdado pelas duas classes filhas da classe Máquina.
- **Tempo variáveis:** instante em que os dados da classe Variáveis foram armazenados na base de dados.
- **Termopar1, Termopar2 e Termopar3:** valores da temperatura medida em três locais ao longo do cilindro.
- **Injeção:** valor da pressão no bico de injeção.
- **Tempo estado:** instante em que os dados da classe Estado foram armazenados na base de dados.
- **Estado:** valor do sinal digital que indica se a máquina se encontra ou não em produção.

A classe Reparação armazena os dados correspondentes a avarias e aos processos de reparação. Isto é, quando um utilizador procede à reparação de uma máquina deve registar, para além do processo de reparação utilizado, as avarias, suas causas raiz, a data de início da respetiva reparação e a sua duração. Assim sendo, os atributos desta classe são: Início reparação, Duração reparação, Avaria, Causa e Reparação.

Tem-se também a classe Autónoma. Esta classe armazena os dados correspondentes à manutenção autónoma realizada a cada oito horas. Neste tipo de manutenção, os



utilizadores verificam o estado dos dispositivos de segurança, os valores medidos pelos termopares e os níveis de óleo hidráulico e lubrificante. Desta forma, os atributos desta classe são, respetivamente: Dispositivos de Segurança, Termopares, Óleo Hidráulico, Óleo Lubrificante e Nível Lubrificante.

Outra classe que irá fazer parte da base de dados, é a classe Molde. Esta classe permite armazenar qual o molde que se encontra numa determinada máquina e em que instante é que este foi lá montado. Assim sendo, esta classe tem como atributos o IDmolde, que permite identificar o molde que se encontra na máquina, e o Tempo molde, que identifica o instante de tempo em que o molde anterior foi colocado na máquina.

Por último, tem-se a classe dos Parâmetros. Esta é constituída pelas condições normais de funcionamento dos vários moldes, isto é, um determinado molde possui valores definidos para a temperatura a que deve estar a região onde se encontra o termopar1, o termopar2 e o termopar3. Se os valores medidos por os termopares forem superiores aos valores máximos, ou inferiores aos valores mínimos nesta classe, pode ser uma indicação de problemas. Assim, os atributos desta classe são:

- **IDmolde:** identifica a que molde.
- **Temp Termopar1 Max:** limite máximo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar1, se o valor medido for superior a este, podem ocorrer problemas.
- **Temp Termopar1 Min:** limite mínimo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar1.
- **Temp Termopar2 Max:** limite máximo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar2.
- **Temp Termopar2 Min:** limite mínimo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar2.
- **Temp Termopar3 Max:** limite máximo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar3.
- **Temp Termopar3 Min:** limite mínimo para a temperatura que deve ser medida pelo termopar3.

Após serem definidas as classes, é altura de identificar as relações que ocorrem entre elas. Como explicado anteriormente, a classe Máquina, as classes Variáveis e Estado possuem uma relação de generalização. Isto é, a classe Máquina é mais genérica, sendo por isso designada de classe “mãe” e dá origem a outras duas classes mais específicas, designadas de classes “filhas”. O que acontece nestes casos, é que as classes mais específicas (classes “filhas”) herdam os atributos das classes mais genéricas (classe “mãe”). Na Figura 4.19, é apresentada a relação de associação entre as várias classes mencionadas.

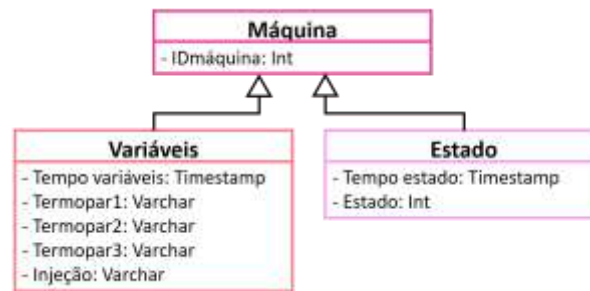


Figura 4.19 – Relação de generalização entre a classe Máquina e as classes Variáveis e Estado.

A classe *Login* e a classe *Reparação* possuem entre elas uma relação associativa. Isto é, para que se ocorra uma reparação, é necessária a presença de um utilizador. O mesmo acontece com a classe *Máquina*, pois não pode ocorrer uma reparação se não existir uma máquina, mesmo que exista um utilizador. Assim, entre estas três classes, estabelecem-se duas relações de associação, como é apresentado na Figura 4.20. A relação entre a classe *Login* e a classe *Reparação* tem uma multiplicidade de um para muitos, o que quer dizer que um só utilizador pode realizar zero ou infinitas ações de reparação. Na segunda relação associativa tem-se uma multiplicidade de muitos para um, o que indica que existem zero ou infinitas ações de reparação realizadas para uma mesma máquina.



Figura 4.20 – Relações entre as classes Login, Reparação e Máquina.

A classe *Autónoma* necessita, também, da participação da classe *Login* e da classe *Máquina*. O utilizador é aquele que realiza o processo de manutenção autónoma, sendo que esse processo tem de ser realizado numa máquina. Desta forma, entre estas três classes estabelecem-se duas relações de associação, como demonstrado na Figura 4.21. A primeira relação associativa representada possui uma multiplicidade de um para muitos, o que significa que um mesmo utilizador é responsável por realizar zero ou infinitas ações de manutenção autónoma. Na relação entre a classe *Autónoma* e a classe *Máquina* tem-se uma multiplicidade de muitos para um, isto é, existem zero ou infinitas ações de manutenção autónoma realizadas para uma mesma máquina.



Figura 4.21 – Relações entre as classes Login, Autónoma e Máquina.

Entre a classe Máquina e a classe Molde existe também uma relação de associação, como se mostra na Figura 4.22. Uma máquina de injeção para produzir uma determinada peça necessita do molde dessa mesma peça. Esta relação possui uma multiplicidade de um para muitos, o que significa que uma determinada máquina possui um ou mais moldes.

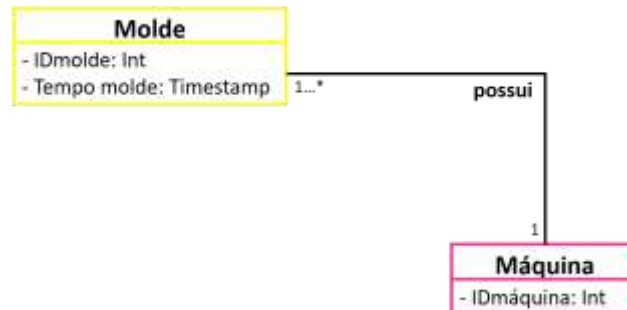


Figura 4.22 – Relação entre as classes Máquina e Molde.

Entre a classe Molde e a classe Parâmetros existe uma relação de composição, como mostra a Figura 4.23. Este tipo de relação estabelece uma obrigatoriedade entre as classes, isto é, se a classe Molde não existir, a classe Parâmetros também não existe, no entanto a classe Molde pode existir sem a classe Parâmetros.

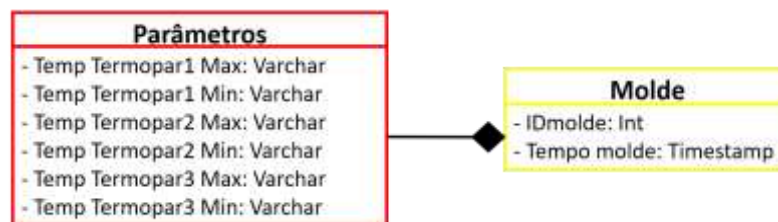


Figura 4.23 – Relação entre as classes Molde e Parâmetros.

Uma vez realizada esta análise, obtém-se o diagrama de classes apresentado na Figura 4.24.

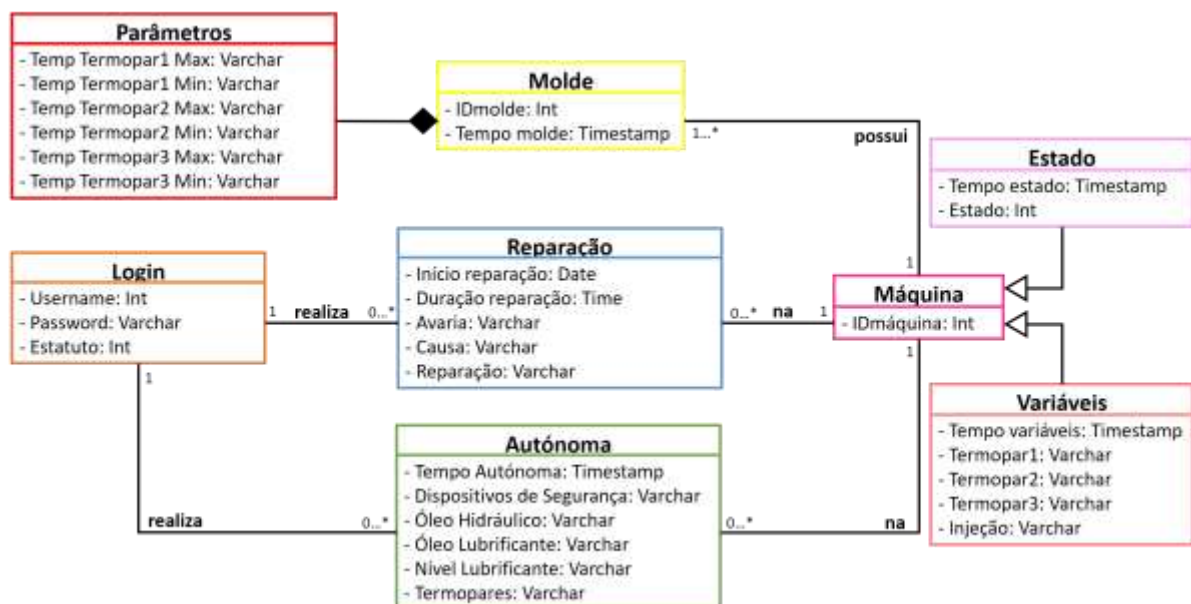


Figura 4.24 – Diagrama de classes para o Sistema desenvolvido.

Para construir a base de dados a partir deste diagrama de classes, é necessário realizar os seguintes passos (Wenger, 2014):

- 1) Converter as classes em tabelas.
- 2) Converter os vários atributos em colunas da base de dados e definir as chaves primárias.
- 3) Converter as associações em chaves estrangeiras.
- 4) Converter as relações  $*$ ... $*$  em tabelas de ligação.
- 5) Identificar as tabelas da base de dados.

No primeiro passo, começa-se por definir as tabelas da base de dados a partir das classes anteriormente criadas. Neste seguimento são criadas sete tabelas na base de dados: “Login”, “Variáveis”, “Reparação”, “Autónoma”, “Estado”, “Molde” e “Parâmetros”. Por uma questão de igualdade entre o DDF e o diagrama de classes a tabela “Reparação” vai ser designada de “Registo”. Seguidamente, transformam-se os atributos em colunas das tabelas criadas anteriormente. Cada coluna das tabelas corresponde a um atributo da classe. Uma vez definidas as colunas das diferentes tabelas identificam-se a(s) chave(s) primária(s). Estas são identificadas na Figura 4.25 por um asterisco (\*).

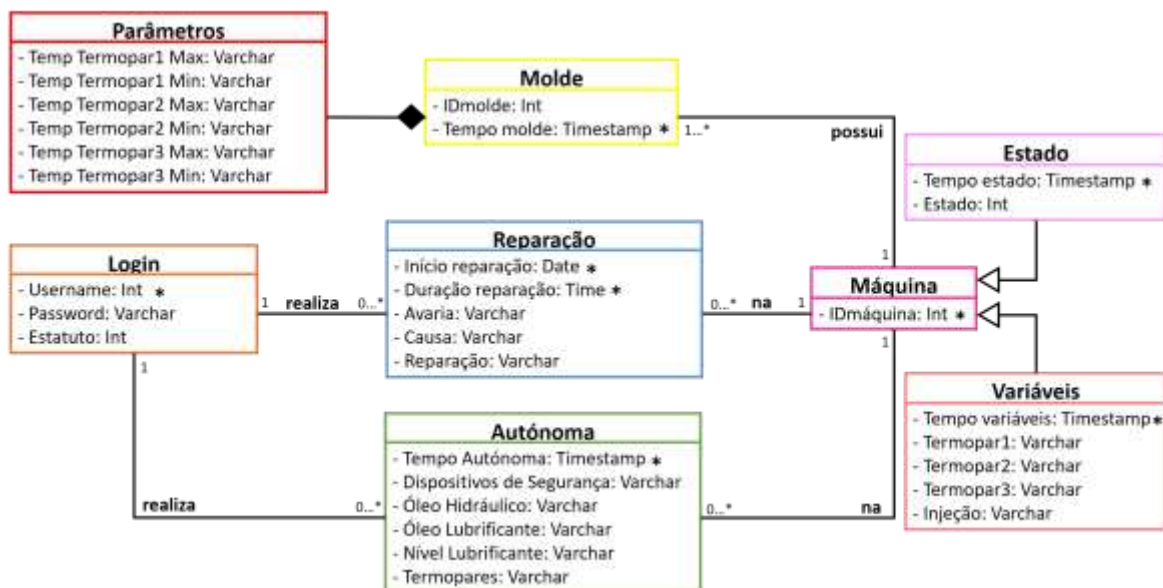


Figura 4.25 – Identificação das chaves primárias das várias classes do sistema.

O próximo passo consiste em converter as associações do diagrama em chaves estrangeiras. As tabelas Variáveis e Estado vão possuir seis e três colunas, respetivamente (Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respetivamente). Isto acontece porque as classes referidas vão herdar o atributo da classe Máquina. Resumidamente, a tabela Variáveis tem como colunas os atributos: Tempo variáveis, Termopar1, Termopar2, Termopar3, Injeção e IDmáquina. Do mesmo modo a tabela Estado tem como colunas os atributos: Tempo estado, Estado e IDmáquina.

Tabela 4.1 – Tabela “Variáveis” presente na base de dados.

| #IDmáquina | #Tempo variáveis | Termopar1 | Termopar2 | Termopar3 | Injeção |
|------------|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
|            |                  |           |           |           |         |

Tabela 4.2 – Tabela “Estado” da base de dados.

| #IDmáquina | #Tempo estado | Estado |
|------------|---------------|--------|
|            |               |        |

A relação entre a classe *Login* e a classe *Reparação*, devido à sua multiplicidade obriga à existência de uma chave estrangeira para a tabela *Registo*. Assim, a tabela *Registo* passa a ter uma nova coluna que corresponde à chave primária da tabela *Login* (Tabela 4.3), isso é, o atributo *Username*.

Tabela 4.3 – Tabela “Login” presente na base de dados.

| #Username | Password | Estatuto |
|-----------|----------|----------|
|           |          |          |

Entre a classe *Reparação* e *Máquina* o mesmo acontece. Como a tabela *Registo* pode ter uma multiplicidade de zero ou muitos relativamente à classe *Máquina*, a primeira tabela deve ter uma coluna cujo atributo é uma das chaves primárias da outra classe. Neste caso, a tabela *Registo* (Tabela 4.4) terá ainda mais uma coluna com o atributo *IDmáquina*.

Tabela 4.4 – Tabela “Registo” presente na base de dados.

| #IDmáquina | #Username | #Início reparação | #Duração reparação | Avaria | Causa | Reparação |
|------------|-----------|-------------------|--------------------|--------|-------|-----------|
|            |           |                   |                    |        |       |           |

A tabela *Autónoma* (Tabela 4.5) possui relações idênticas com as mesmas classes que a tabela *Registo*. Dessa forma, à tabela *Autónoma* vão ser acrescentadas duas chaves estrangeiras: *Username* e *IDmáquina*, passando esta tabela a ter mais duas colunas do que o que tinha inicialmente.

Tabela 4.5 – Tabela “Autónoma” presente na base de dados.

| #ID máquina | #Username | #Tempo autónoma | Dispositivos Segurança | Óleo Hidráulico | Óleo Lubrificante | Nível Lubrificante | Termopares |
|-------------|-----------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|------------|
|             |           |                 |                        |                 |                   |                    |            |

A multiplicidade entre a classe *Máquina* e a classe *Molde* obriga à existência de uma chave estrangeira na tabela *Molde*. Deste modo, a tabela *Molde* (Tabela 4.6) passa a ter uma nova coluna que corresponde à chave primária da classe *Máquina*, ou seja, o atributo *IDmáquina*.

Tabela 4.6 – Tabela “Molde” da base de dados.

| #IDmáquina | #Tempo molde | IDmolde |
|------------|--------------|---------|
|            |              |         |

A relação de composição entre a classe *Molde* e a classe *Parâmetros* obrigada também à existência de uma chave estrangeira na tabela *Parâmetros*. Logo a tabela *Parâmetros* (Tabela 4.7) passará a ter como novo atributo o *IDmolde*.

Tabela 4.7 – Tabela “Parâmetros” da base de dados.

| #IDmolde | Temp Termopar1 Max | Temp Termopar1 Min | Temp Termopar2 Max | Temp Termopar2 Min | Temp Termopar3 Max | Temp Termopar3 Min |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|          |                    |                    |                    |                    |                    |                    |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|

O quarto passo pode ser avançado, uma vez que não existem relações desse tipo no diagrama de classes proposto para este trabalho.

O diagrama de classes final é apresentado na Figura 4.26 (as chaves estrangeiras encontram-se escritas a vermelho).

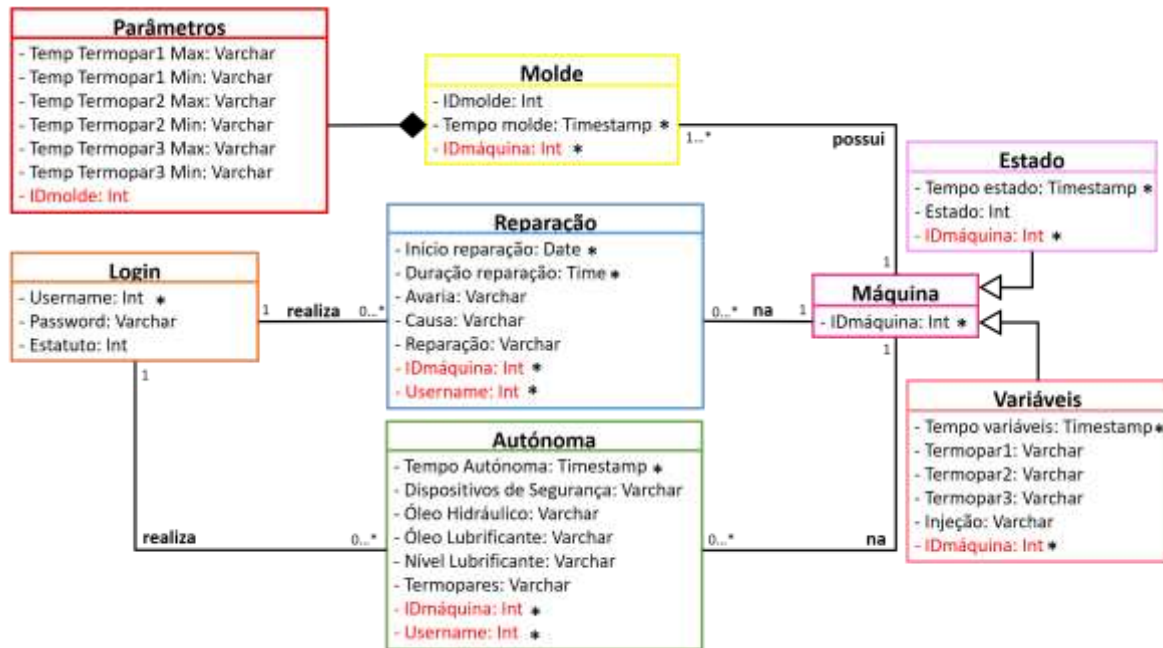


Figura 4.26 – Diagrama de classes final.

#### 4.4.2 Programação do microcontrolador e controlo da temperatura

Uma vez desenvolvido o *hardware*, é necessário fornecer-lhe instruções escritas que comandem o seu funcionamento, para que este cumpra os objetivos pretendidos. Este conjunto de instruções que comandam o microcontrolador constitui uma parte do *software* desenvolvido.

O *software* do microcontrolador deve permitir que este se ligue à rede *wireless* da empresa, que interprete os valores medidos pelos vários sensores e os envie para uma base de dados para serem armazenados. É importante salientar que os dados recolhidos são enviados por intermédio de um ficheiro PHP pedido ao servidor via *wi-fi*, sendo este ficheiro que depois estabelece a ligação com a base de dados. O servidor *web* utilizado é o XAMPP, que para além de estabelecer a comunicação entre o microcontrolador e a base de dados, funciona também como gestor de base de dados e servidor e de *email*.

Para sintetizar o funcionamento do *software* desenvolvido para o microcontrolador foi realizado o diagrama de atividades presente na Figura 4.27.



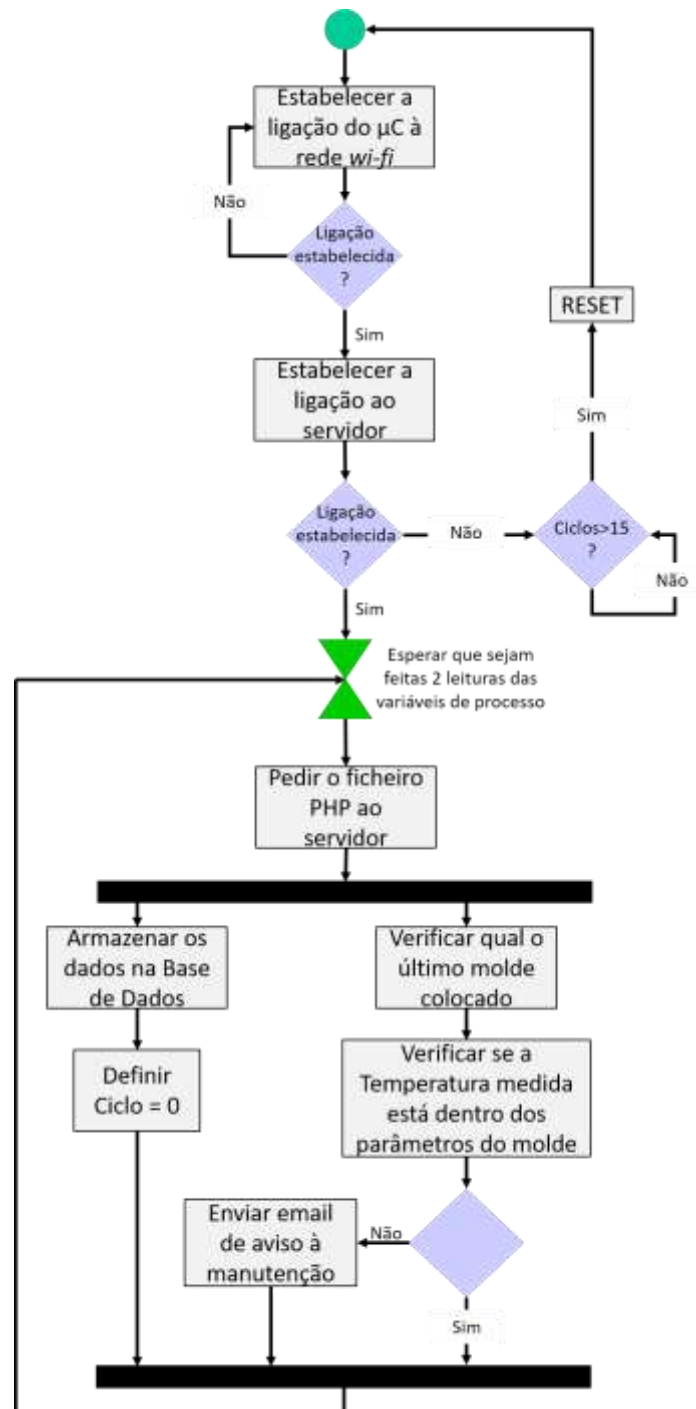


Figura 4.27 – Diagrama de atividades (em UML) do *software* do microcontrolador.

A comunicação entre o microcontrolador e o servidor não é possível sem que primeiro seja estabelecida a ligação a uma rede *wi-fi*. Para que tal aconteça, utilizou-se a biblioteca ESP8266WiFi.h, que permite ao microcontrolador aceder a uma rede *wi-fi* e enviar mensagens a outros dispositivos ligados a essa mesma rede. Uma vez ligado à rede, o microcontrolador deve conectar-se ao servidor do equipamento de destino. Estabelecida esta ligação, é pedido pela porta 80 ao servidor o ficheiro PHP pretendido, tendo este como parâmetros de entrada os valores das variáveis do processo, medidas num determinado instante de tempo.

Após o servidor ter recebido os valores das variáveis do processo, a variável ciclo volta a zero, como se pode observar pelo diagrama da Figura 4.27. No entanto, se, por alguma razão, o microcontrolador não se conseguir ligar ao servidor, a variável Ciclo continua a aumentar de valor e, quando esta for igual a quinze, ocorre um *reset* automático do equipamento.

Como mostra na Figura 4.27, após ser pedido o ficheiro PHP duas atividades iniciam-se em paralelo. Por um lado, os valores das variáveis do processo são armazenados na tabela correspondente da base de dados e, por outro acede-se à tabela Molde da base de dados para verificar qual o ID do último molde colocado na máquina. Ao conhecer que molde está em utilização, sabe-se quais as suas condições normais de funcionamento, isto é, fica-se a conhecer entre que valores as temperaturas devem variar, em cada uma das zonas assinaladas na Figura 4.5.

Na Figura 4.28 , é apresentado um excerto do código que aciona o envio do *email* para o molde ML1059. Ao analisar o código verifica-se que as variáveis medidas num determinado instante pelos sensores da máquina (Termopar1, Termopar2, Termopar3) são comparadas aos valores limite definidos para o respetivo molde (t1\_max, t1\_min, t2\_max, t2\_min, t3\_max, t3\_min) e, caso os valores medidos estejam fora dos limites estipulados para as temperaturas em cada zona é, imediatamente, enviado um *email* de aviso ao responsável da manutenção (Figura 4.29), a indicar que os valores de temperatura medidos estão fora dos limites definidos.

```
if (($Termopar1 > $t1_max) || ($Termopar1 < $t1_min)
    || ($Termopar2 > $t2_max) || ($Termopar2 < $t2_min)
    || ($Termopar3 > $t3_max) || ($Termopar3 < $t3_min ))
{
    $to = ""; // e-mail do destinatário
    $from = "manutencao.ua.2018@gmail.com"; // e-mail remetente
    $subject = "ALERTA: Irregularidades nas temperaturas.";
    $message = "As temperaturas medidas encontram-se fora dos valores esperados.";
    $message .= "<p>";
    $message .= "&Eacute; necessario verificar a situa&ccedil;&atilde;o.";

    // To send HTML mail, the Content-type header must be set

    $headers[] = 'MIME-Version: 1.0';
    $headers[] = 'Content-type: text/html; charset=iso-8859-1';

    // Mail it

    mail($to, $subject, $message, implode("\r\n", $headers));
}
```

Figura 4.28 – Código para enviar *email* ao responsável da manutenção caso os valores de temperatura medidos estejam fora dos limites estipulados.



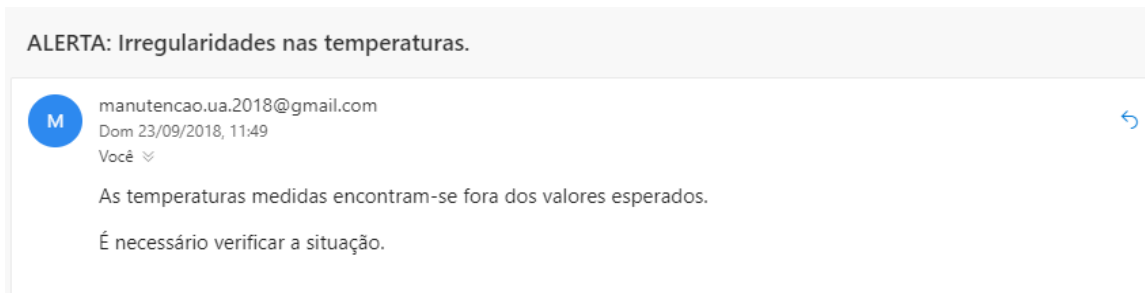


Figura 4.29 – Exemplo do *email* recebido pelo responsável da manutenção, a alertar que os valores de temperatura se encontram fora dos limites.

#### 4.4.2.1 Determinação das condições normais de funcionamento da temperatura

Para a plataforma ser capaz de enviar alertas com irregularidades aquando a medição das temperaturas é, antes de tudo, necessário determinar entre que valores varia a temperatura em condições normais de funcionamento para um determinado molde.

Perante o elevado número de moldes utilizados na máquina e o tempo limitado para a elaboração do presente trabalho, optou-se por realizar os cálculos destes valores apenas para um molde, com o intuito de validar o procedimento seguido para o cálculo dos restantes. Isto porque, sendo o procedimento válido para o molde escolhido, será, consequentemente, válido para todos os outros.

Note-se que nos cálculos efetuados pressupõe-se que a cada molde corresponde uma e só uma matéria-prima, o que foi corroborado pelo departamento de produção da empresa.

A escolha do molde baseou-se no seguinte critério:

1. Verificar, de acordo com o registo de paragens do equipamento em análise os moldes mais utilizados.
2. Verificar, de acordo com o registo de paragens do equipamento em análise, quais os moldes que possuem menos paragens, com o objetivo de reduzir o número de condições anormais de funcionamento.

De acordo com o critério anterior determinou-se que o cálculo dos limites da temperatura seria realizado para o molde ML1059 (Tabela G.2 do Apêndice G). Uma vez escolhido o molde, reuniram-se todos os dados recolhidos pelo equipamento de monitorização correspondente aos períodos de utilização do molde ML1059.

Tendo os dados correspondentes ao molde, definiu-se o procedimento a seguir para a obtenção de uma amostra, retirada em condições normais de funcionamento, para cálculo dos limites de temperatura do mesmo. Os passos obrigatórios do procedimento desenvolvido são:

1. Selecionar dados da monitorização correspondentes ao molde a analisar;
2. Verificar no registo de paragens a data/hora em que se realizou a troca de molde;
3. Retirar dados correspondentes ao *setup* referido no passo 2.;
4. Verificar datas de paragem e duração;
5. Retirar dados do tempo referido no passo 4.;
6. Retirar amostra estável (que não apresente valores anormais) de temperatura, com 200 valores, e que permita o cálculo dos limites;

7. Utilizar a amostra para calcular os limites da temperatura usando cartas de controlo no *software* Minitab (consultar Apêndice H para mais informações).

Ao analisar o registo de paragens da tabela do Apêndice G verifica-se que o molde ML1059 é utilizado duas vezes, a primeira desde o dia 28 de junho às 17:39:30 até ao dia 29 de junho às 04:46:12, e a segunda desde o dia 13 de julho às 03:40:45 até dia 13 de julho às 13:10:14. Os valores medidos pelos três sensores de temperatura durante a primeira utilização são apresentados no gráfico da Figura 4.30, enquanto que os valores dos mesmos sensores durante a segunda utilização são apresentados no gráfico da Figura 4.31.

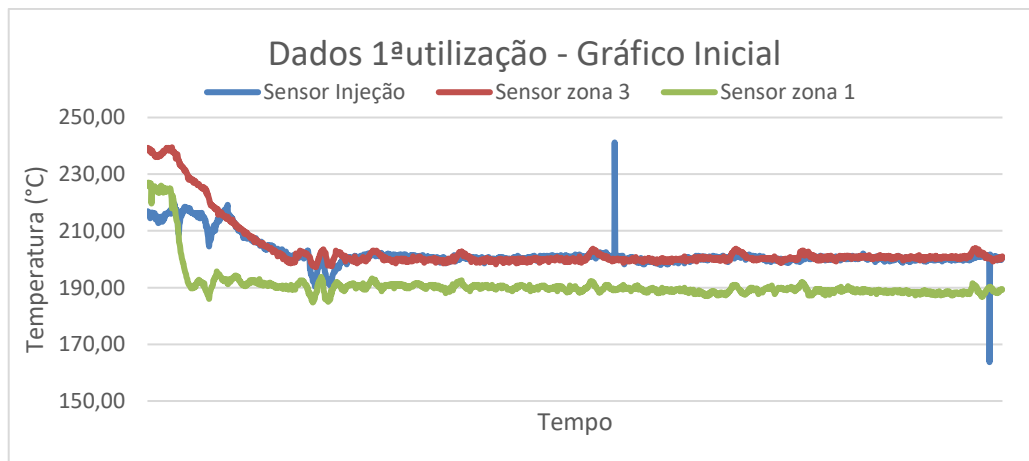


Figura 4.30 – Dados recolhidos pelos sensores de temperatura para a primeira utilização do molde.

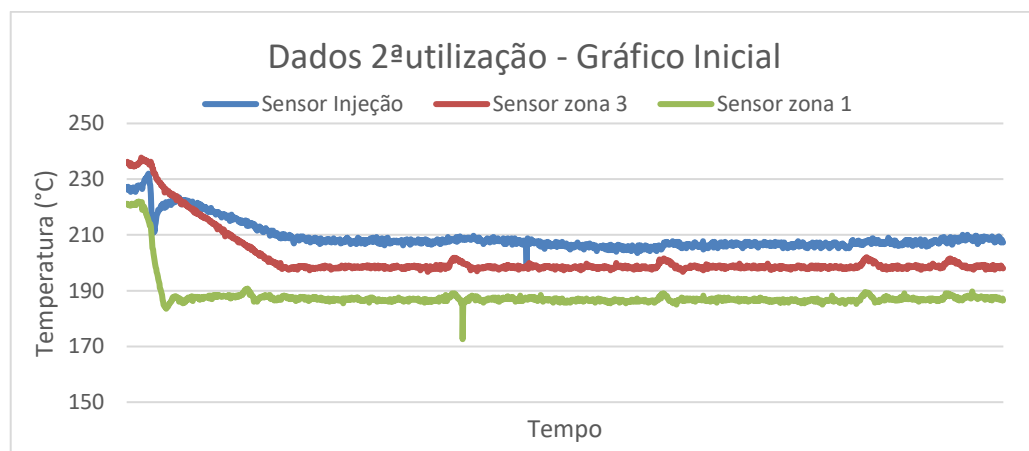


Figura 4.31 – Dados recolhidos pelos sensores de temperatura para a segunda utilização do molde.

Como indicado no procedimento, o passo seguinte envolve a verificação, no registo de paragens, da data e da hora a que se procedeu à troca do molde (passo 2). Conhecendo os dados pedidos no passo 2, eliminam-se os dados correspondentes ao tempo de *setup* do molde (passo 3). Uma vez cumpridos os primeiros passos, devem ser verificadas, no registo de paragens, as datas e as horas em que ocorreram paragens do equipamento (passo 4), quer seja conhecida a causa quer não. Obtendo-se estes tempos, devem ser retirados os dados de temperatura correspondentes (passo 5). Após serem cumpridos os passos anteriores, obtêm-se dois gráficos: o gráfico da Figura 4.32, que corresponde à primeira utilização do molde e o gráfico da Figura 4.33 que corresponde à segunda utilização.

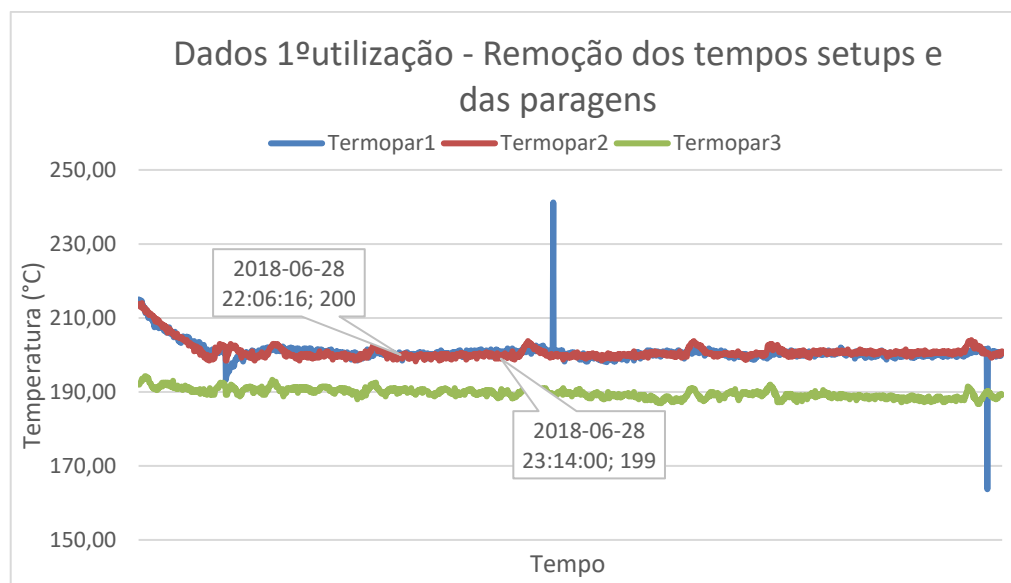


Figura 4.32 – Dados obtidos após a remoção dos tempos de *setup* e dos tempos correspondentes a paragens para a primeira utilização do molde.

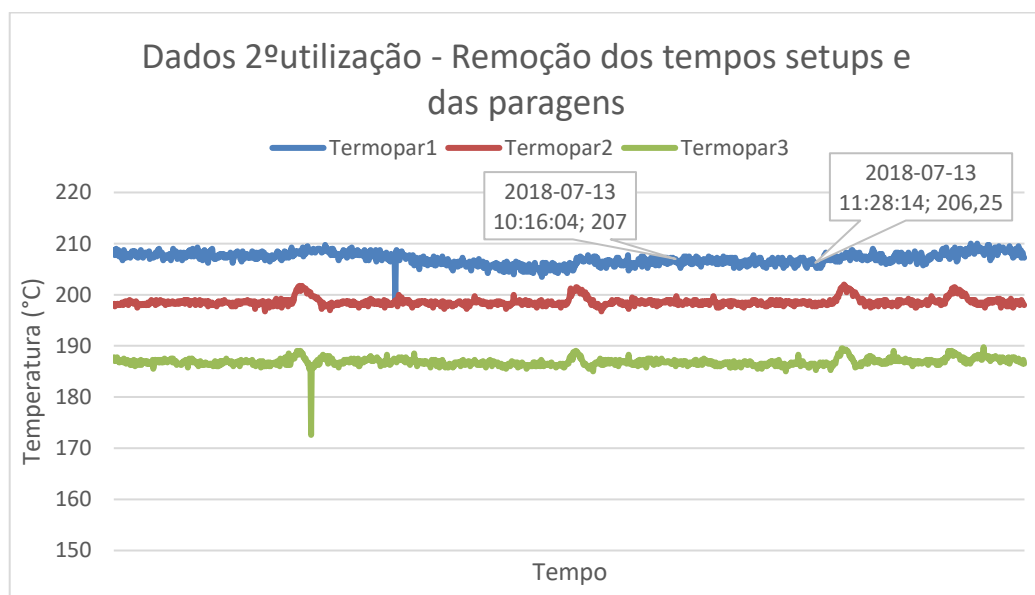


Figura 4.33 – Dados obtidos após a remoção dos tempos de *setup* e dos tempos correspondentes a paragens para a segunda utilização do molde.

O passo seguinte consiste em definir uma amostra de 200 valores com dados obtidos no final do passo 5. Nos gráficos anteriores já se entra salientado o intervalo de tempo onde se encontram os dados que serão utilizados no próximo passo, sendo no Apêndice I apresentados os seus respetivos valores.

É importante salientar que os picos observados nos gráficos, pensa-se que se devem a ruídos que não foram completamente filtrados pelo circuito integrado MAX6675.

Por último, realiza-se o passo 7, seguindo o raciocínio apresentado no Apêndice H. Desta forma, obtêm-se o gráfico da Figura 4.34 (a) e o da Figura 4.34 (b) para o sensor de temperatura no bico de injeção. Analisando os gráficos, conclui-se que os valores obtidos

não ultrapassam os limites definidos e encontram-se em torno da média, tanto em termos de amplitude como de média. Assim, conclui-se que os limites obtidos para a temperatura, na Figura 4.34 (b) são válidos.

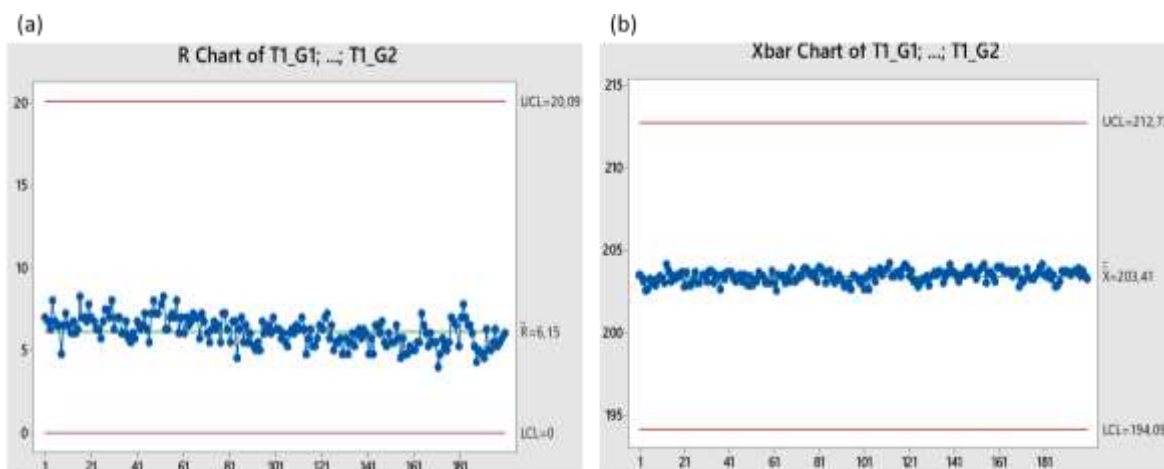


Figura 4.34 – (a) Gráfico R obtido para a temperatura de injeção através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura de injeção através do Minitab.

Procedeu-se do mesmo modo para os outros dois sensores de temperatura, obtendo-se para o sensor da zona 3 o gráfico da Figura 4.35 (a) e o da Figura 4.35 (b) e, para o sensor da zona 2 o da Figura 4.36 (a) e o da Figura 4.36 (b). Analisando os respetivos gráficos verifica-se que é correto considerar como limites da temperatura os valores obtidos pela Figura 4.35 (b), no caso da temperatura da zona 3, e pela Figura 4.36 (b), no caso da temperatura da zona 2.

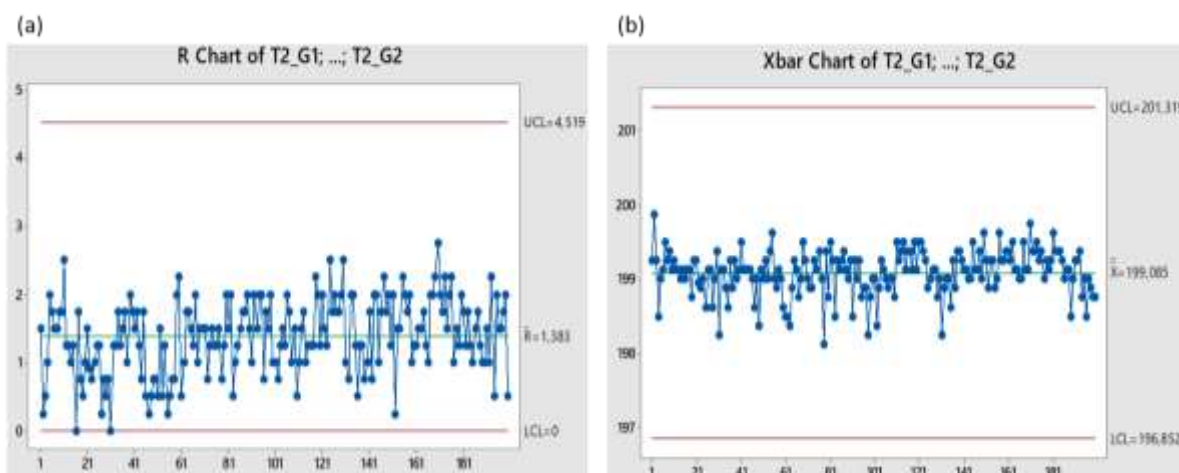


Figura 4.35 – (a) Gráfico R obtido para a temperatura da zona 3 através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura da zona 3 através do Minitab.

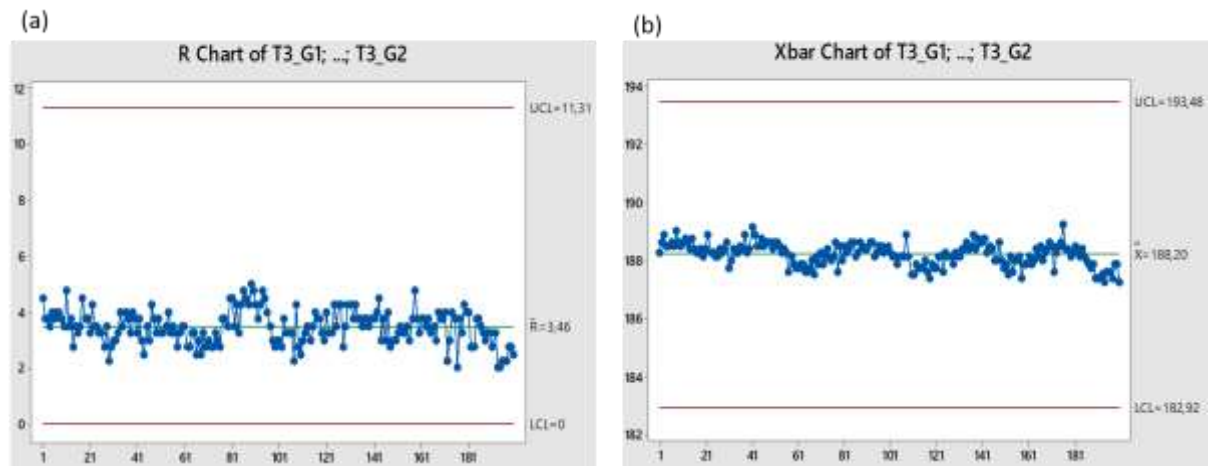


Figura 4.36 – (a) Gráfico Rbar obtido para a temperatura da zona 1 através do Minitab. (b) Gráfico Xbar obtido para a temperatura da zona 1 através do Minitab.

Após todos estes cálculos definem-se os limites de temperatura do molde ML1059, de acordo com os valores apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Limites máximos e mínimos da temperatura para o molde ML1059.

| Temperatura Injeção (°C) |        | Temperatura zona 1 (°C) |        | Temperatura zona3 (°C) |         |
|--------------------------|--------|-------------------------|--------|------------------------|---------|
| Máximo                   | Mínimo | Máximo                  | Mínimo | Máximo                 | Mínimo  |
| 212,73                   | 194,09 | 193,48                  | 182,92 | 201,319                | 196,852 |

#### 4.4.3 Plataforma Web desenvolvida

A plataforma *web* foi inicialmente desenvolvida com a finalidade de permitir ao utilizador monitorizar as variáveis de interesse no processo de injeção, prever avarias e realizar os restantes objetivos proposto pela empresa. No entanto, durante o planeamento do projeto, a plataforma adquiriu outras funcionalidades para além das enunciadas, passando a ser usada para a realização da manutenção autónoma e para a obtenção de um registo de avarias completo e rigoroso.

Previamente ao seu desenvolvimento, foram definidos vários requisitos base que a plataforma deveria possuir. Um dos requisitos consiste no tempo de operabilidade da plataforma, isto é, esta deve ser capaz de funcionar 24 horas por dia todos os dias, o que obriga a testar o funcionamento desta sob estas condições. Além disso, tem de ser possível, dentro das instalações da empresa, aceder à plataforma através de qualquer dispositivo (computador, *tablet* ou *smartphone*). Por último, é necessário que esta seja de fácil utilização, pois o nível de conhecimento e à-vontade dos utilizadores varia.

Assim, para satisfazer os objetivos definidos e de forma a cumprir os requisitos apresentados foram desenvolvidas as seguintes páginas *web*:

- Página inicial;
- Página de Manutenção Autónoma;
- Página de Registo de Avarias;
- Página de Monitorização das variáveis do processo;
- Página de Gestão de Acessos (Adicionar/Remover utilizadores);
- Página do Molde;

- Página de Relatórios (Calcular MTTR, MTBF e a disponibilidade);
- Páginas de *Login*;
- Página de *Logout*;
- Páginas para visualização do histórico;
- Páginas de Sucesso ou Erro;
- Páginas de Acesso Negado.

Para representar a forma como as diferentes páginas se encontram na plataforma *web*, desenvolveu-se o diagrama de atividades geral da Figura 4.37, sendo que nas próximas secções serão apresentadas, de forma detalhada as diferentes páginas desenvolvidas. É ainda importante salientar a existência de três níveis de acesso para os utilizadores, isto é, consoante o nível de acesso de determinado utilizador, este pode, ou não, aceder a uma determinada página da plataforma. Por essa razão é que na Figura 4.37, o estatuto, ou nível de acesso, restringe a entrada de certos utilizadores a algumas das páginas.

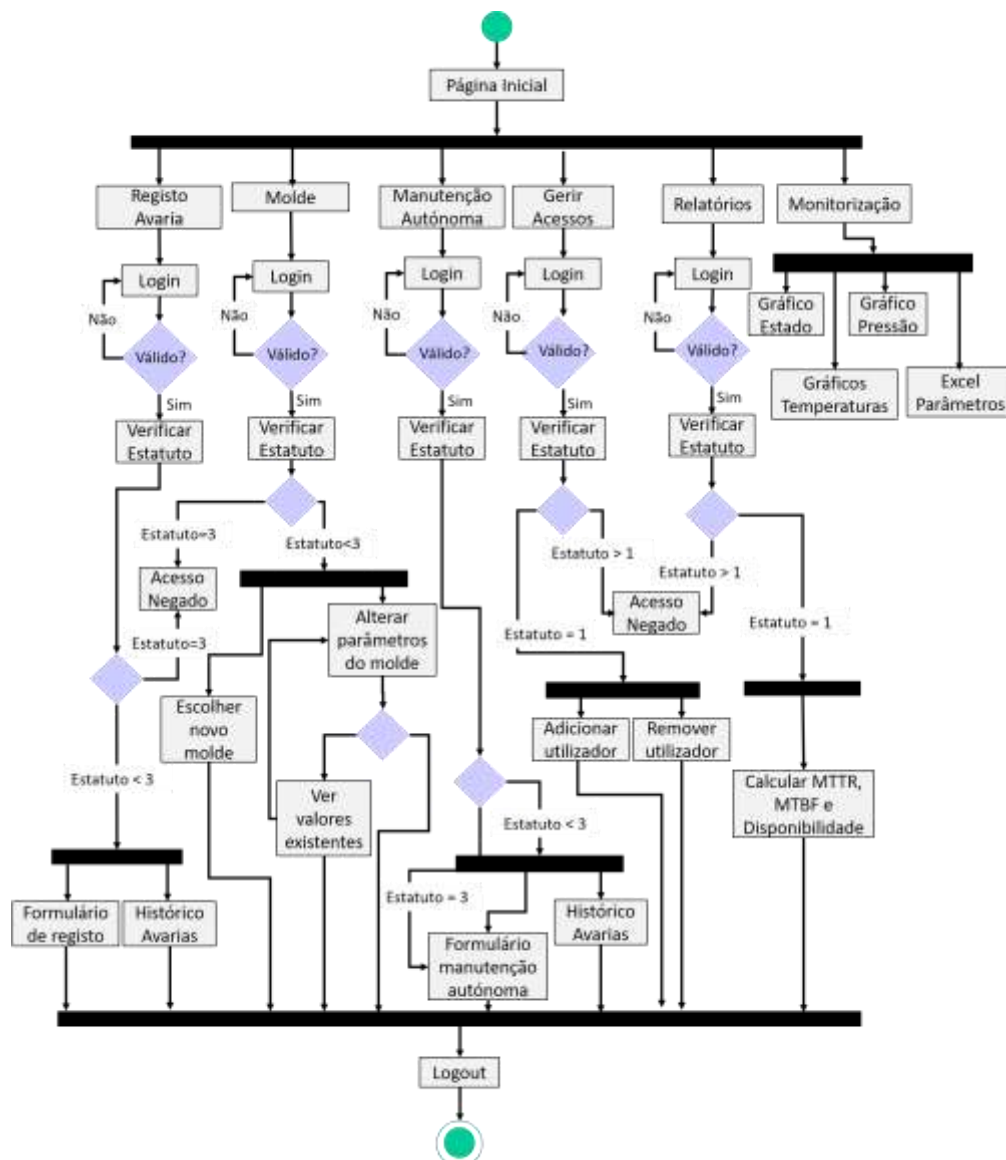


Figura 4.37 – Diagrama de atividades geral (em UML) da plataforma *web* desenvolvida.



Adicionalmente, de forma a representar as principais funcionalidades da plataforma e as interações que ocorrem entre este sistema e os utilizadores, desenvolveu-se, em UML, o diagrama de casos de uso (ou casos de utilização) representado na Figura 4.38. Neste, podem distinguir-se os três estatutos anteriormente mencionados.

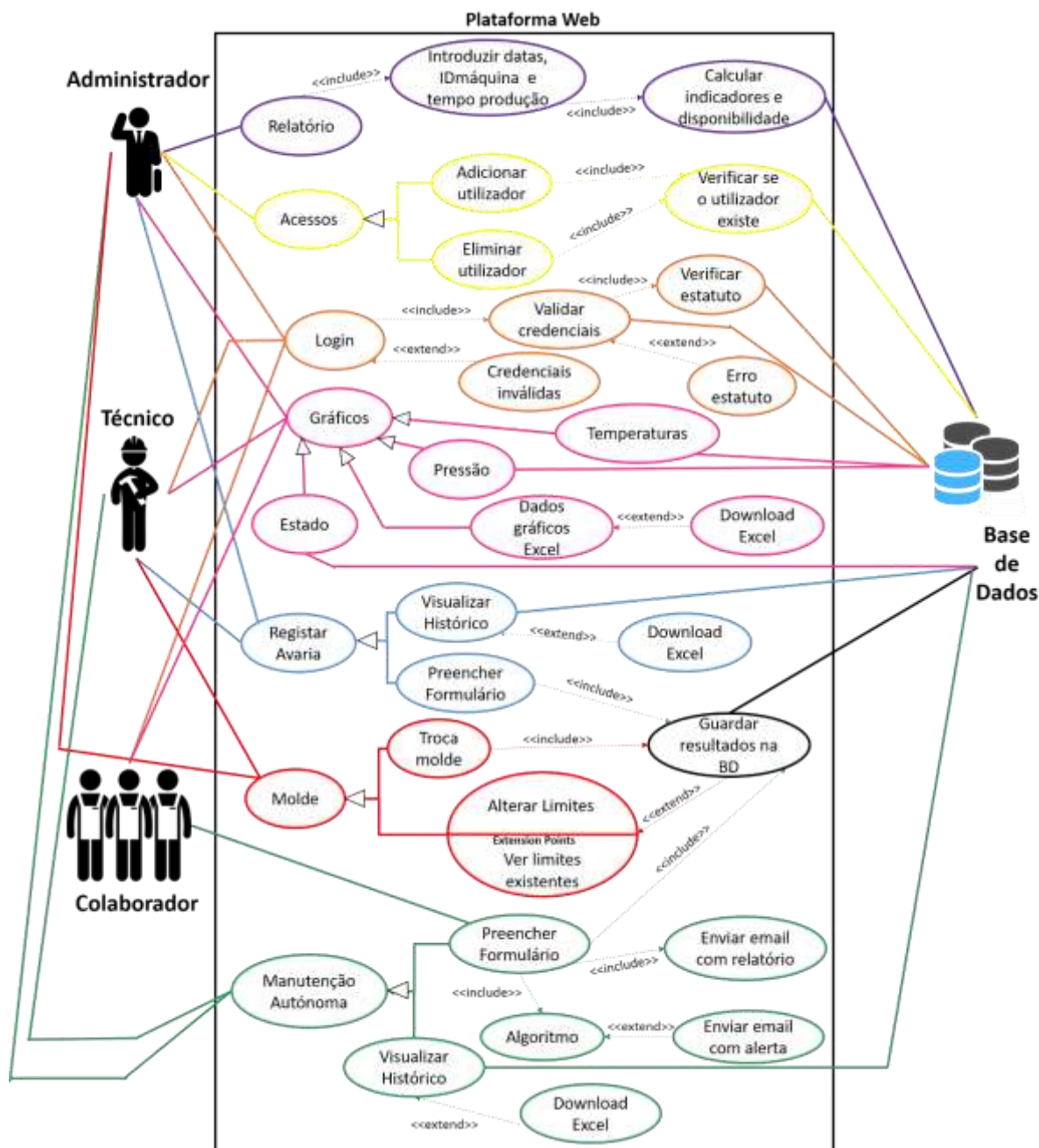


Figura 4.38 – Diagrama de casos de uso (em UML) para a plataforma desenvolvida.

## Página Inicial

A página inicial pretende mostrar todas as funcionalidades da plataforma *web* desenvolvida. Desta forma, os utilizadores podem ter uma visão geral das várias opções existentes.

No canto esquerdo da página inicial, é apresentada uma lista com várias máquinas da empresa, como se pode ver pela Figura 4.39.



Figura 4.39 – Página Inicial da plataforma *web* desenvolvida.

O utilizador, ao carregar em qualquer uma das máquinas, é direcionado para a página principal de cada uma delas. Por defeito, a página inicial da plataforma é a da máquina Nº91, uma vez esta é a que corresponde ao âmbito do presente trabalho.

### **Páginas de *Login* e *Logout***

A página de *Login* aparece sempre que uma página da plataforma possui restrições de acesso. Por restrições de acesso entende-se que existem certos utilizadores cujo estatuto lhes impede a entrada em determinadas páginas da plataforma.

A página é composta por um formulário com dois parâmetros, *Username* e *Password*, como se mostra na Figura 4.40. Caso alguns destes parâmetros não seja preenchido, a própria página de *Login* não deixa que o utilizador avance, avisando ainda que faltam preencher campos do formulário.



Figura 4.40 – Página de *Login* da plataforma desenvolvida.



Para melhor entender o funcionamento desta página, é apresentado, na Figura 4.41, o diagrama de atividades para a mesma.

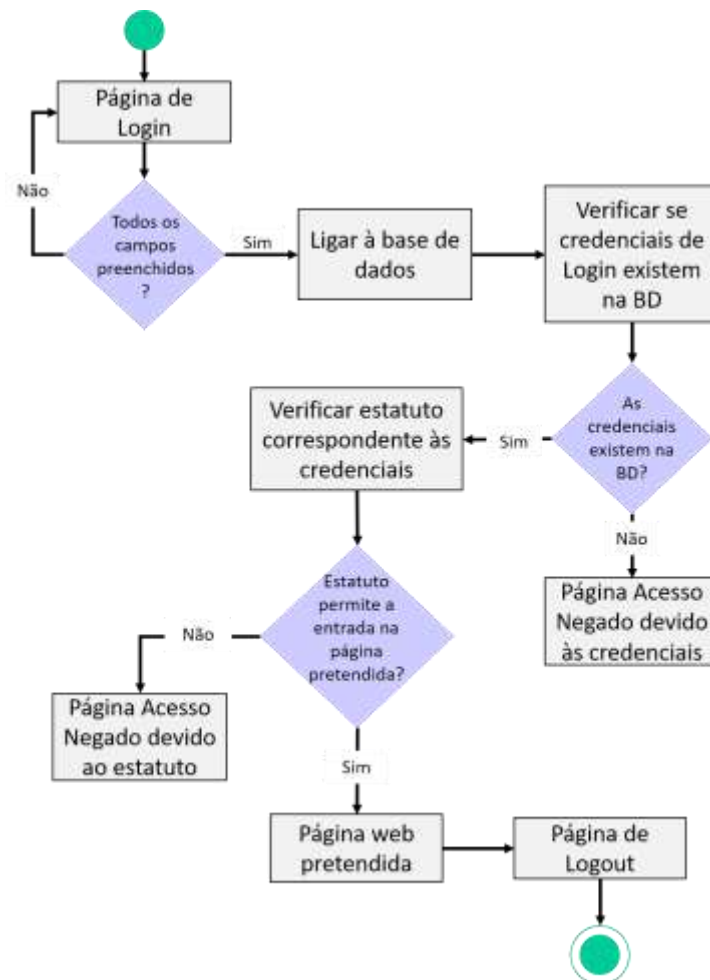


Figura 4.41 – Diagrama de atividades (em UML) da página de *Login*.

Após o utilizador ter preenchido todos os campos do formulário, é enviado um pedido sob a forma de uma *query* SQL para conectar o servidor (XAMPP) à base de dados. Sendo estabelecida a ligação, é procurado na tabela *Login*, um utilizador com credenciais iguais às introduzidas no formulário. Caso essas credenciais não existam na base de dados, o utilizador em questão é impedido de entrar, sendo-lhe mostrada a página de acesso negado.

Por outro lado, sendo as credenciais válidas, é verificado qual o estatuto a que essas se encontram associadas. Note-se que para a plataforma desenvolvida foram definidos três estatutos distintos:

- **Estatuto 1:** os utilizadores com este estatuto podem aceder a qualquer página da plataforma que possua restrições de acesso. Podem ser considerados os “Administradores” da plataforma.
- **Estatuto 2:** estes utilizadores podem aceder apenas a algumas das páginas da plataforma que têm restrições de acesso. Este nível de acesso é atribuído aos técnicos da manutenção, para que possam aceder à página para registo de avarias, à página que contém o histórico de avarias e à página do molde.

- **Estatuto 3:** os utilizadores com este estatuto podem apenas aceder à página do formulário de manutenção, uma vez que este estatuto é atribuído aos colaboradores que devem fazer a manutenção autónoma da máquina.

Assim, não possuindo o utilizador o estatuto adequado à página a que pretende aceder, é-lhe negado o acesso, aparecendo a página de acesso negado. Se, pelo contrário, o estatuto for adequado, é visualizado no ecrã a página pretendida.

Por último, quando o utilizador quiser sair da sua conta, basta clicar na hiperligação que existe no canto inferior esquerdo das várias páginas *web*. Desta forma, é feito o *logout* e a sessão desse utilizador é terminada.

### **Página de Manutenção Autónoma**

Na fase de planeamento detetou-se que o plano de manutenção preventivo proposto no manual técnico não era executado, dificultando a prevenção de problemas. A falta de disponibilidade dos técnicos da manutenção leva a que não consigam cumprir o plano mencionado com a frequência desejada.

No entanto, ao analisar o plano notou-se que os seus primeiros pontos (verificações a cada oito horas) são de fácil realização, podendo ser executados por um colaborador de forma independente. Assim, no final de cada turno, o colaborador responsável pela máquina deve verificar os componentes do plano de manutenção do fabricante.

A página de manutenção autónoma surge assim, da necessidade de criar um histórico das várias verificações e da necessidade de controlar se estas estão, ou não, a ser realizadas. Para um melhor entendimento do funcionamento desta página e de todas as outras páginas que a constituem, é apresentado o diagrama de atividades da Figura 4.42.

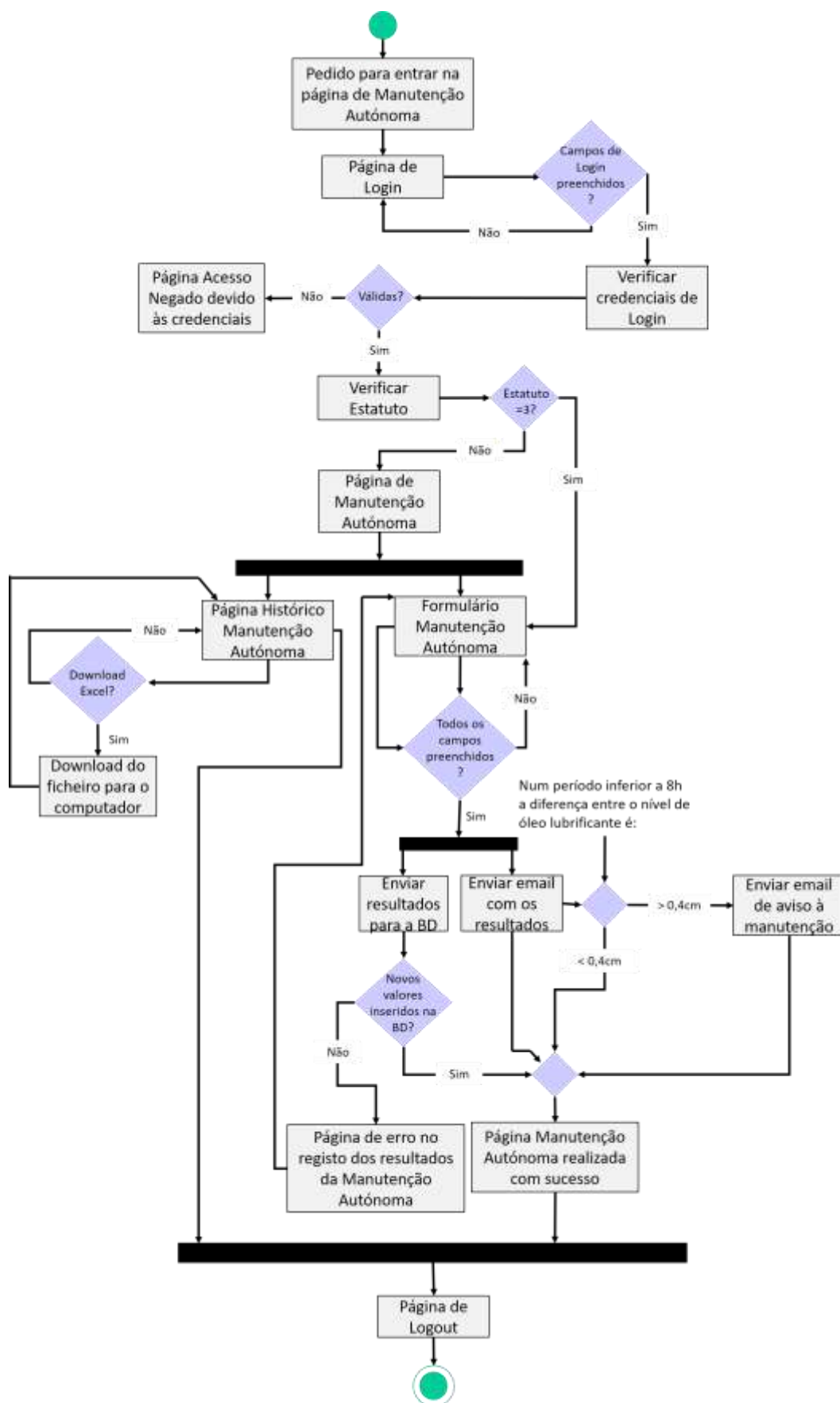


Figura 4.42 – Diagrama de atividades (em UML) da página de manutenção autónoma.

Quando o utilizador selecciona a página de manutenção autónoma aparece-lhe a página de *Login* que este deve preencher com o seu *username* e *password*. Estando todos os campos preenchidos e sendo válidas as credenciais de *login*, o *software* verifica na base de dados, qual o estatuto do utilizador com as respetivas credenciais.

Caso o estatuto do utilizador seja igual a três, este tem apenas acesso ao formulário de manutenção autónoma, no entanto se o estatuto do utilizador for diferente de três, este tem duas opções ou acede à página com o histórico de manutenção autónoma, ou acede ao formulário da manutenção autónoma. Quando o utilizador acede à página com o histórico de manutenção, visualiza uma tabela onde pode observar todas as manutenções autónomas realizadas, as suas datas e os seus resultados podendo ainda, se pretender, proceder ao download de um ficheiro de Excel com todos os dados que aparecem na tabela. Por outro lado, quando acede ao formulário, aparece a janela presente na Figura 4.43. Os campos do formulário apresentado são referentes aos pontos do plano de manutenção do fabricante que devem ser verificados a cada oito horas.

**OLI**  
MÁQUINA Nº91

## Manutenção Autónoma

Máquina: 91

Verificar dispositivos de segurança:

- ☐ Em ordem.
- ☐ Problema.
- ☐ Não realizada a verificação.

Verificar nível de óleo hidráulico:

- ☐ Verificado
- ☐ Próximo do nível mínimo
- ☐ Não realizada a medição.

Medir nível de óleo lubrificante (por exemplo, 10 S):

- ☐ Verificado
- ☐ Introduzir o nível de óleo medido
- ☐ Não realizada a verificação.

Verificar os valores dos termopares:

- ☐ Em ordem.
- ☐ Problema
- ☐ Não realizada a verificação.

Submeter

Figura 4.43 – Formulário de manutenção autónoma.

Caso algum dos campos não esteja preenchido após o utilizador submeter o formulário, a página *web* avisa o utilizador desta situação.

Ao preencher o formulário, o utilizador deve indicar qual a máquina que está a examinar, verificando, seguidamente se os dispositivos de segurança estão a funcionar. De seguida, deve verificar os níveis de óleo hidráulico e lubrificante. No caso do nível de óleo lubrificante, o utilizador deve medir a quantidade de óleo existente de acordo com o esquema da Figura 4.44. No caso do óleo hidráulico, é possível que o utilizador não possa medir

corretamente o nível de óleo, devendo por isso, verificar apenas, se o nível de óleo hidráulico não é inferior ao nível mínimo estipulado.

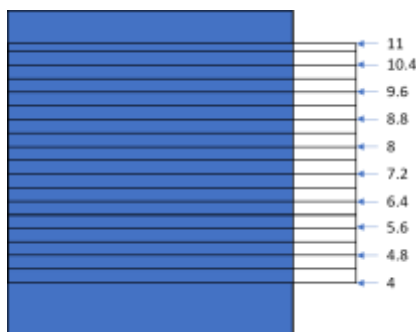


Figura 4.44 – Esquema para a medição do nível de óleo lubrificante.

Por último, verifica-se se os termopares da máquina estão a medir os valores corretos, submetendo depois o formulário. No momento em que os dados são submetidos, inicia-se o processo de comunicação com a base de dados. Os pedidos são feitos sob a forma de *queries* SQL e partem da página *web* apresentada na Figura 4.43. Uma vez iniciada a comunicação, é enviada uma *query* para inserir na base de dados os resultados do formulário na tabela “Autónoma”.

Paralelamente ao armazenamento dos resultados, é enviado um *email* automático, ao responsável da manutenção com os resultados da verificação realizada. Desta forma, o responsável pode averiguar se as ações de manutenção estão a ser executadas e pode ser também rapidamente informado relativamente aos problemas encontrados. Salienta-se ainda que, caso alguns dos parâmetros não tenha sido verificado ou se encontre com algum problema, este aparece no *email* salientado a vermelho, como é o caso dos dispositivos de segurança no *email* apresentado na Figura 4.45.



Figura 4.45 – Exemplo de *email* recebido pelo responsável da manutenção com o relatório de manutenção autónoma.

Verificou-se, ainda, que se poderiam detetar fugas de óleo lubrificante através dos resultados da manutenção autónoma. Nesse sentido, desenvolveu-se um algoritmo, apresentado no diagrama de atividades da Figura 4.46, para identificar a existência de fugas de óleo lubrificante, através da quantidade de óleo gasto.

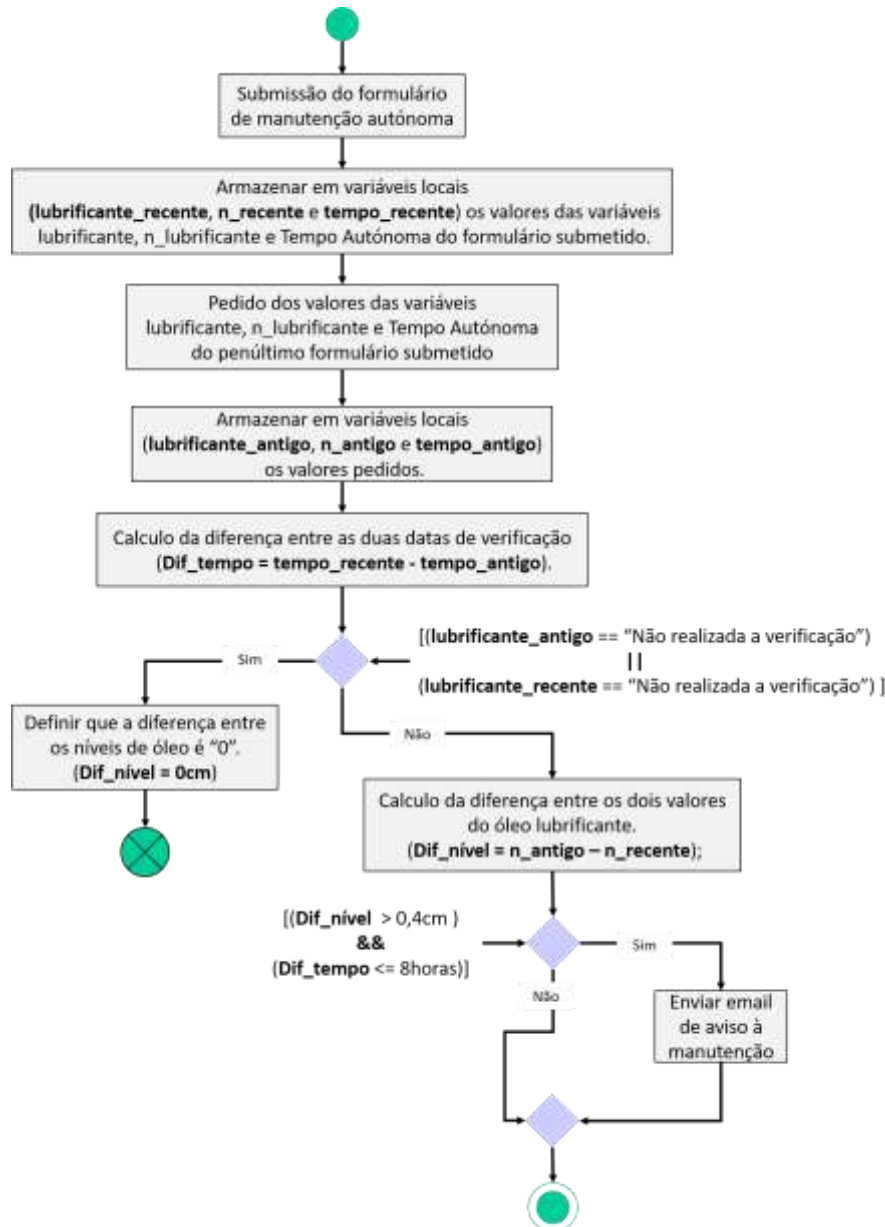


Figura 4.46 – Algoritmo para detecção de fugas de óleo lubrificante.

Admitindo que a quantidade de óleo gasta por ciclo para os diferentes moldes é a mesma e sabendo que demora, aproximadamente, uma semana a chegar do nível máximo de óleo lubrificante (11cm) ao nível mínimo (4cm), determinou-se, de acordo com a equação (17), que se gasta 1cm de óleo por dia, o que equivale a gastar 0,33336cm a cada oito horas.

$$\frac{11cm - 4cm}{7 dias} = 1cm/dia \quad (17)$$

Assim, se o gasto de óleo lubrificante num período de oito horas for superior a 0,33336cm é provável que exista uma fuga. No caso de se verificar uma diferença maior do que os 0,3336cm, o responsável da manutenção recebe um *email* de aviso. No entanto, de forma a ter alguma margem de segurança definiu-se que o respetivo *email* só será enviado caso a diferença seja superior a 0,4cm, o que corresponde a uma margem de segurança de 20%.

Na Figura 4.47 encontra-se o diagrama de sequência do processo de envio do *email* de aviso sobre uma fuga de óleo. Neste descreve-se, cronologicamente, as várias interações entre objetos que precedem o envio do *email* automático (Figura 4.48), para o responsável da manutenção. Note-se que, quando o nível de óleo lubrificante não é verificado, o algoritmo para deteção de fugas de óleo lubrificante admite que a diferença de nível de óleo é zero (**Dif\_nível=0cm**), uma vez que, sem todos os dados não é possível avaliar se existe, ou não, uma fuga de óleo lubrificante no equipamento.

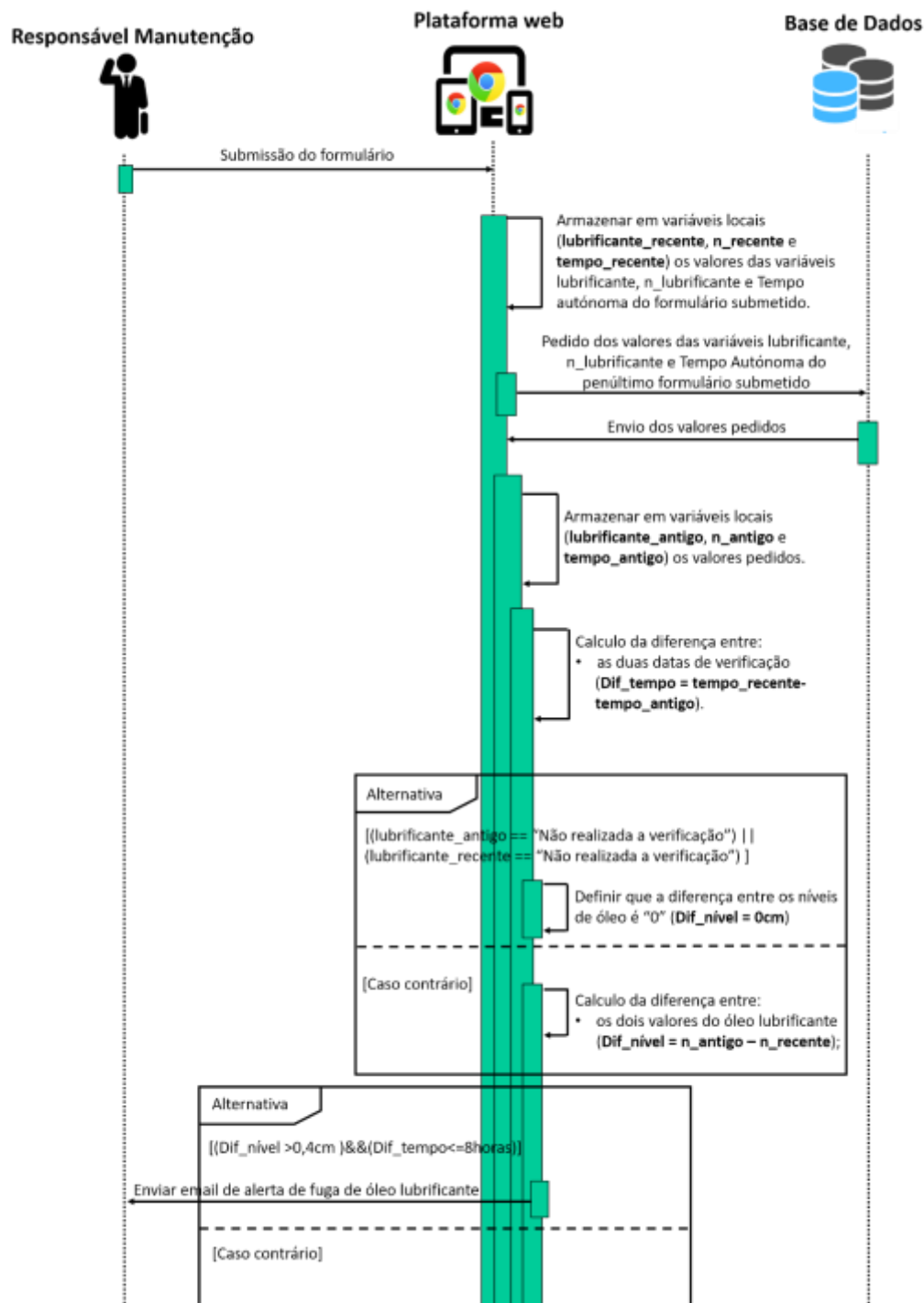


Figura 4.47 – Diagrama de sequência (em UML) do envio do *email* de aviso segundo os resultados do algoritmo de deteção de fugas de óleo.

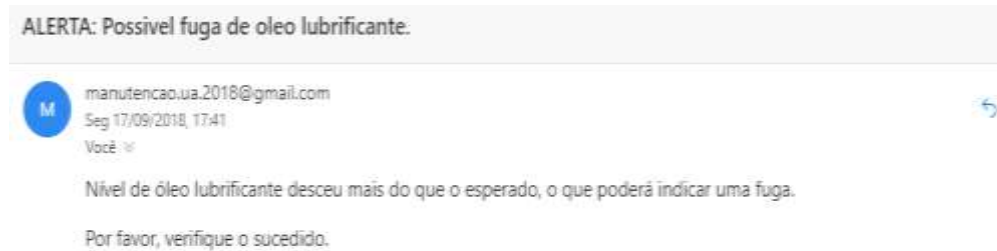


Figura 4.48 – Exemplo do *email* recebido pelo responsável da manutenção a alertar de uma fuga de óleo lubrificante.

### **Página de Registo de Avarias**

Ao analisar a listagem de avarias da máquina de injeção notou-se, que, apesar das poucas avarias, a descrição das mesmas era pouco exata, sendo muitas vezes apresentada do ponto de vista do colaborador que se encontra a trabalhar na respetiva máquina.

Esta situação torna difícil utilizar a respetiva listagem para auxiliar no planeamento da manutenção preditiva. Além disso, o facto de os técnicos da manutenção, após a reparação do problema, não identificarem a sua “Causa Raiz”, dificulta ainda mais a aplicação de soluções preditivas. Sendo este o cenário, foi necessário encontrar uma nova solução que permitisse criar um histórico com todas as avarias da máquina, as suas causas e processo de reparação. A página de registo de avarias, cujo diagrama é apresentado na Figura 4.49, permite alcançar o pretendido.

Para aceder à página de Registo de avarias, o utilizador deve em primeiro lugar preencher o formulário de *Login*. Sendo as credenciais inseridas válidas e o estatuto 1 ou 2, o utilizador é direcionado para a página de registo de avarias. Caso contrário, isto é, se as credenciais do utilizador for 3, este é direcionado para a página de acesso negado.

Uma vez na página de registo de avarias, o utilizador pode aceder à página onde se encontra o histórico de todas as avarias introduzidas na base de dados (podendo nesta página proceder ao download de um ficheiro Excel com esse mesmo histórico), ou, pode registar uma avaria. O formulário para registar avarias possui seis campos de preenchimento obrigatório. No início do formulário, o utilizador deve indicar em que máquina ocorreu a avaria devendo, de seguida, introduzir a data em que se iniciou a reparação e a duração desta. Os dados mencionados permitem avaliar o desempenho da manutenção pelo cálculo dos indicadores MTTR e MTBF.

No campo seguinte, o técnico deve explicar de forma simples, mas completa, a avaria, devendo também identificar qual a causa ou causas da mesma, para que mais tarde possam ser analisadas para determinar quais os componentes e as variáveis do processo que se devem monitorizar. Deve ainda ser descrito o processo de reparação realizado.



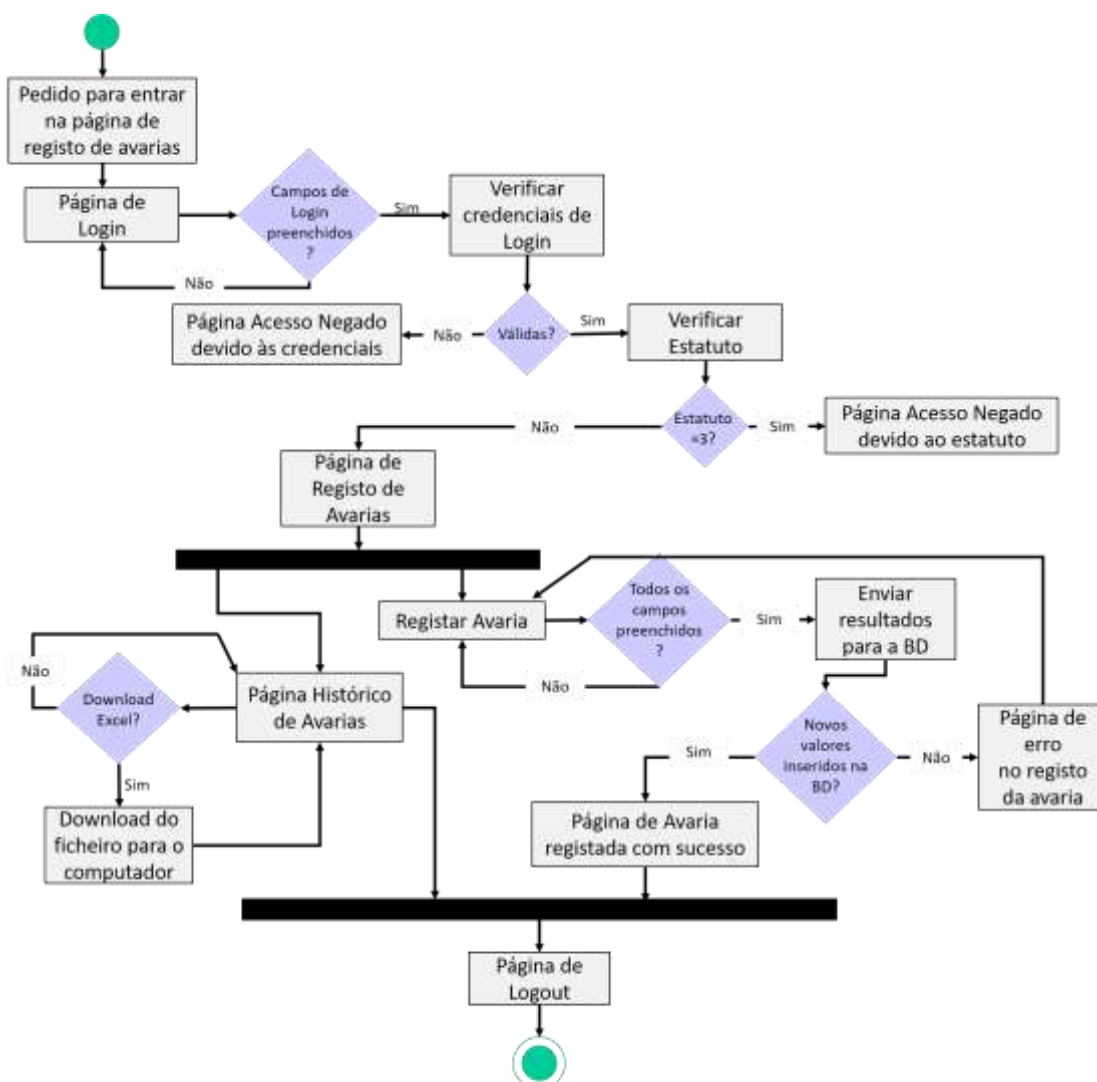


Figura 4.49 – Diagrama de atividades (em UML) da página de registo de avarias.

Uma vez preenchidos todos os campos, o utilizador pode submeter o formulário, sendo os dados armazenados na tabela “Registo” da base de dados. Quando o utilizador submete o formulário, para além dos dados do mesmo, é também introduzido na tabela referida o *username* do utilizador que a avaria. Com todos os dados armazenados, o utilizador é direcionado para uma página que indica que o registo foi executado com sucesso. Finalmente, o utilizador pode terminar a sessão fazendo *logout*.

### Página de Monitorização

A página de monitorização (Figura 4.50) permite aos utilizadores da plataforma, visualizar, em tempo real e em qualquer lugar, os parâmetros definidos na fase de planeamento (secção 4.2). Para além disso permite transferir dados de interesse para um ficheiro Excel.

Como se pode ver pela figura anterior, a página de monitorização permite monitorizar:

- **O estado da máquina:** mostra se a máquina se encontra parada ou em produção, através de um sinal digital que vai alternando entre o valor “0”, e “1”

quando a máquina se encontra em produção, e se mantém com o valor “0” quando a máquina está parada.

- As **temperaturas**: mais precisamente, os valores da **temperatura de injeção**, da **temperatura na zona 1 da manta de aquecimento** e da **temperatura na zona 3 da manta de aquecimento**. Note-se, devido aos valores da temperatura na zona 1 e na zona 2 da manta de aquecimento serem muito similares, levou a que não se medisse a temperatura na zona 2.
- A **pressão**: mais precisamente a **pressão no bico de injeção**.



Figura 4.50 – Página de monitorização da plataforma *web*.

Se o utilizador pretender aceder ao estado da máquina é direcionado para o gráfico do mesmo. No entanto, se por outro lado aceder às temperaturas ou às pressões é direcionado para a página *web* onde pode ver a localização dos sensores de temperatura existentes na máquina (Figura 4.51 (a)) ou os sensores de pressão da mesma (Figura 4.51 (b)), respetivamente.

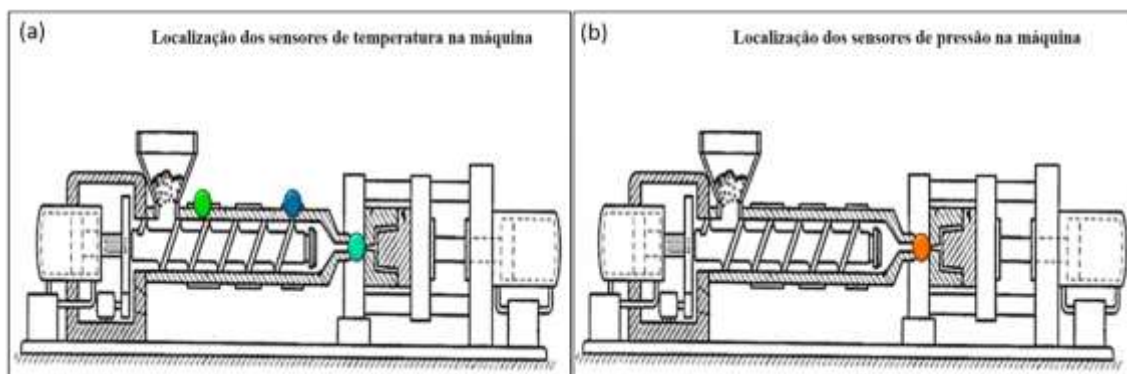


Figura 4.51 – (a) Página de localização dos sensores de temperatura; (b) Página de localização dos sensores de pressão.

Uma vez numa destas páginas basta que o utilizador selecione o botão correspondente ao parâmetro que pretende monitorizar, sendo posteriormente direcionado

para o gráfico do mesmo. Na Figura 4.52 é apresentado, a título de exemplo, o gráfico da temperatura no bico de injeção.

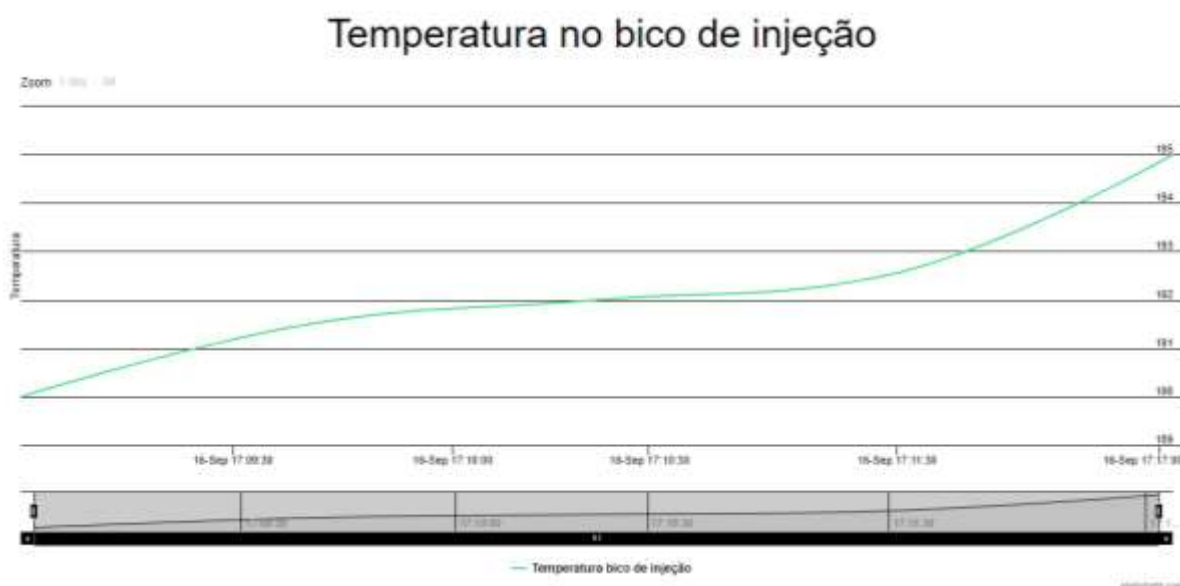


Figura 4.52 – Gráfico da temperatura no bico de injeção da máquina.

Se, por outro lado, o utilizador pretender avaliar os dados de um dia específico, pode realizar o download do ficheiro Excel que contém os parâmetros pretendidos no intervalo de tempo escolhido. Para fazer este download o utilizador deve aceder à Página de Download de dados para Excel e preencher um formulário que é composto por quatro campos de preenchimento obrigatório. No primeiro campo o utilizador deve indicar de que máquina pretende retirar os dados, sendo que no segundo e terceiro campo indica entre que datas estão os dados pretendidos (por exemplo: entre 21-06-2018 e 23-06-2018) No último paragrafo o utilizador deve escolher qual dos parâmetros monitorizados pretende transferir.

Na Figura 4.53 é apresentado o diagrama de atividades da página de monitorização, que sintetiza todo o funcionamento desta página da plataforma.

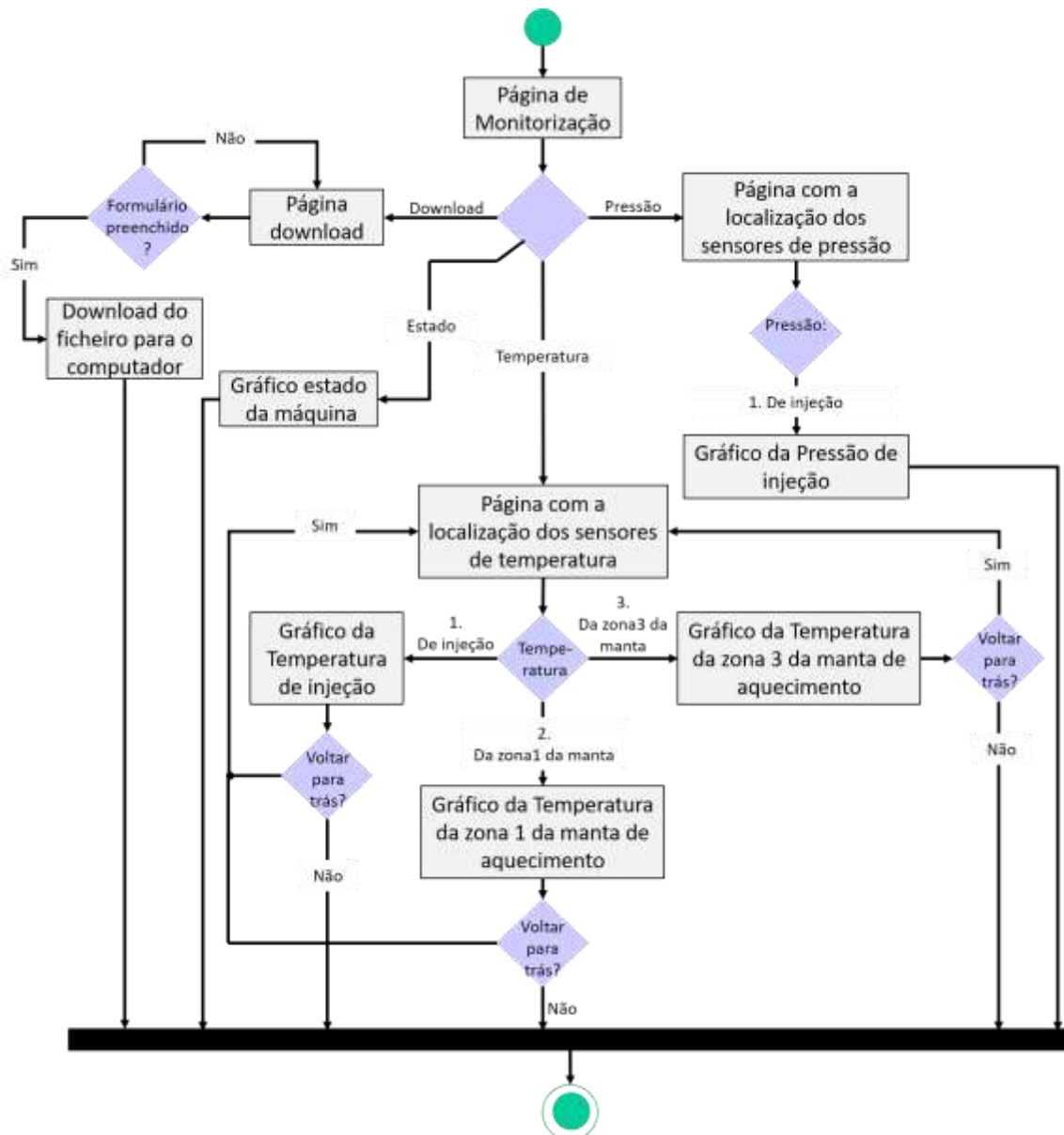


Figura 4.53 – Diagrama de atividades (em UML) da página de monitorização.

Como foi referido anteriormente, estes gráficos permitem ao utilizador monitorizar em tempo real as variáveis medidas, ou seja, o gráfico vai atualizando de forma a que os novos valores medidos sejam acrescentados ao gráfico de forma praticamente instantânea. Para que tal aconteça, ocorrem uma série de interações entre a página *web*, onde se encontra o gráfico que o utilizador está a visualizar, e a base de dados. A sequência dessas interações ao longo do tempo é representada no diagrama de sequência da Figura 4.54.

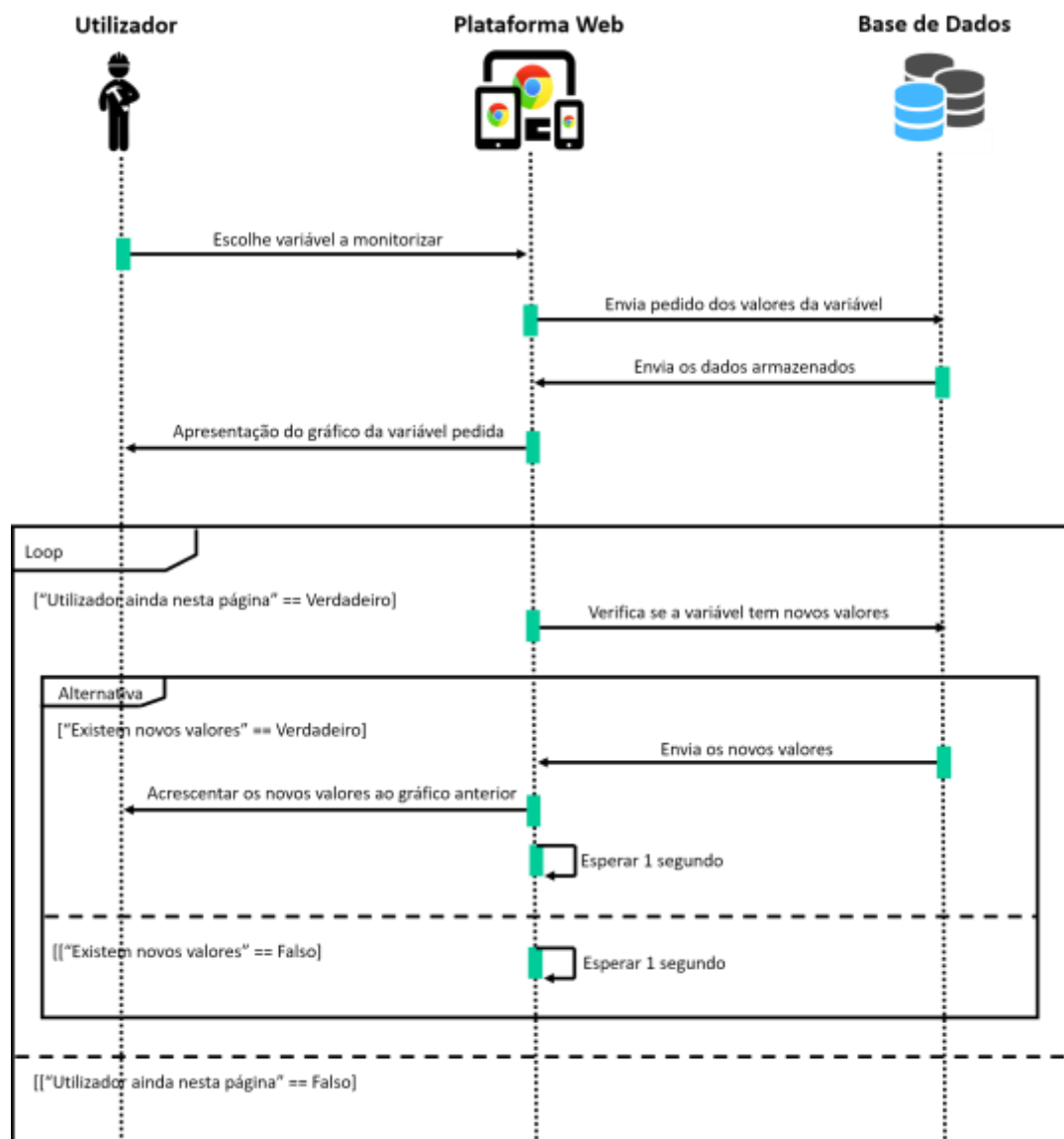


Figura 4.54 – Diagrama de sequência (em UML) dos gráficos em tempo real.

Como se pode observar pelo diagrama de sequência, se o utilizador ainda se encontrar na página que contém o gráfico da variável que está a monitorizar, verifica-se a cada segundo se existem novos valores dessa variável na base de dados. Caso tenham sido inseridos novos valores na base de dados, estes são acrescentados ao gráfico anterior, caso contrário nada é inserido no gráfico. Este processo de atualização continua a repetir-se, só cessando quando o utilizador abandona a página do gráfico.

### Página de Gestão de Acessos

Esta página tem como finalidade permitir que os utilizadores com estatuto 1 registem novos utilizadores ou eliminem utilizadores já existentes na plataforma. O funcionamento desta parte da plataforma *web* é apresentado no diagrama de atividades da Figura 4.55. É de salientar que aquando a instalação do sistema desenvolvido (*hardware* e *software*), define-se um administrador (utilizador de estatuto 1) para que este depois possa adicionar outros utilizadores consoante as necessidades.

À semelhança das outras páginas da plataforma, o utilizador deve começar por preencher a página de *login*. Possuindo credenciais válidas e estatuto 1, o utilizador acede à página de gestão de acessos, onde pode escolher se pretende registar ou eliminar utilizadores.

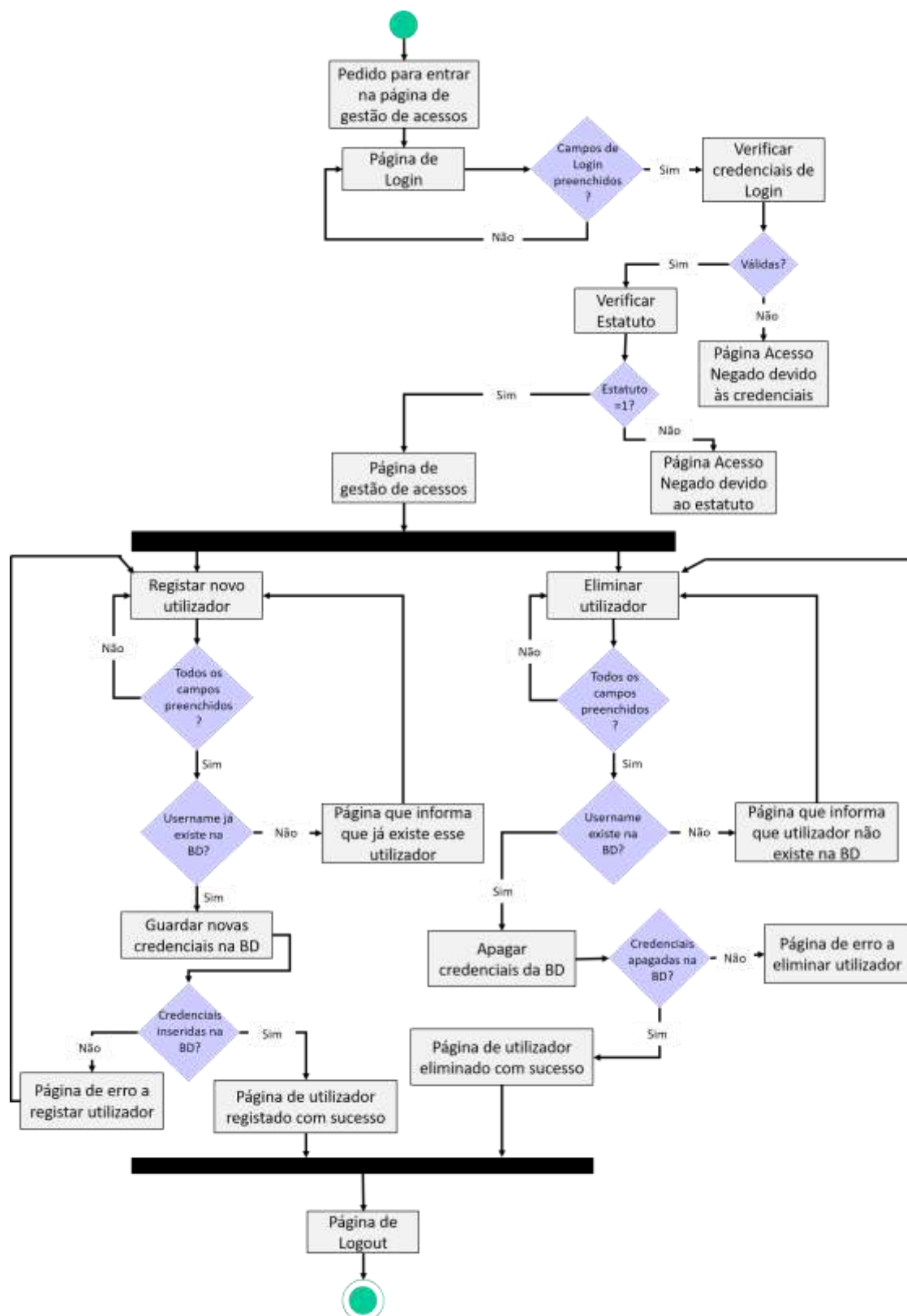


Figura 4.55 – Diagrama de atividades (em UML) da página de gestão de acessos.

Para registrar um novo utilizador, deve ser preenchido um formulário constituído por três campos de preenchimento obrigatório: *username*, *password* e estatuto. O *username* é único para cada utilizador o que significa que dois utilizadores não podem ter o mesmo nome e, caso o utilizador utilize um já existente é avisado do sucedido. A *password* é definida segundo a preferência do novo utilizador e o estatuto é escolhido consoante a função do mesmo.

Para apagar um utilizador já existente, o administrador (utilizador com estatuto 1) deve preencher um formulário com o *username* do utilizador que quer eliminar da base de dados. Caso exista um utilizador na base de dados com o *username* introduzido este é eliminado. No entanto, se não houver correspondência entre o *username* introduzido e os existentes na base de dados, o administrador é avisado que o utilizador que ele pretende eliminar não existe.

### **Página do Molde**

A máquina de injeção usada no âmbito do presente trabalho produz vários tipos de peças, o que obriga à existência de diferentes moldes. Como explicado na secção 4.4.2, cada molde possui determinadas temperaturas normais de funcionamento. Sendo assim, para que se consiga fazer o controlo da temperatura, é necessário saber que molde se encontra na máquina a cada instante.

A página do molde foi assim desenvolvida para permitir que o utilizador identifique o molde que se encontra na máquina. Desta forma, cada vez que o molde for trocado, o utilizador deve aceder a esta página e identificar qual o novo molde introduzido na máquina, ficando essa troca registada na tabela Molde da base de dados.

Apesar de as condições normais de funcionamento do molde terem sido determinadas a partir da monitorização das temperaturas em tempo real, pode haver necessidade de alterar esses valores por diversas razões. Acrescentou-se assim, uma página que permite aos utilizadores alterar os valores limites da temperatura previamente definidos.

Na Figura 4.56, é apresentado o diagrama de atividades para a página do molde. Como se pode ver, um utilizador que pretenda aceder à página começa por preencher a página de *login*. Uma vez verificadas as credenciais e o estatuto do mesmo, o utilizador é direcionado para a página do molde. Nesta pode escolher entre proceder à troca do molde ou à alteração dos valores limites definidos para um determinado molde.



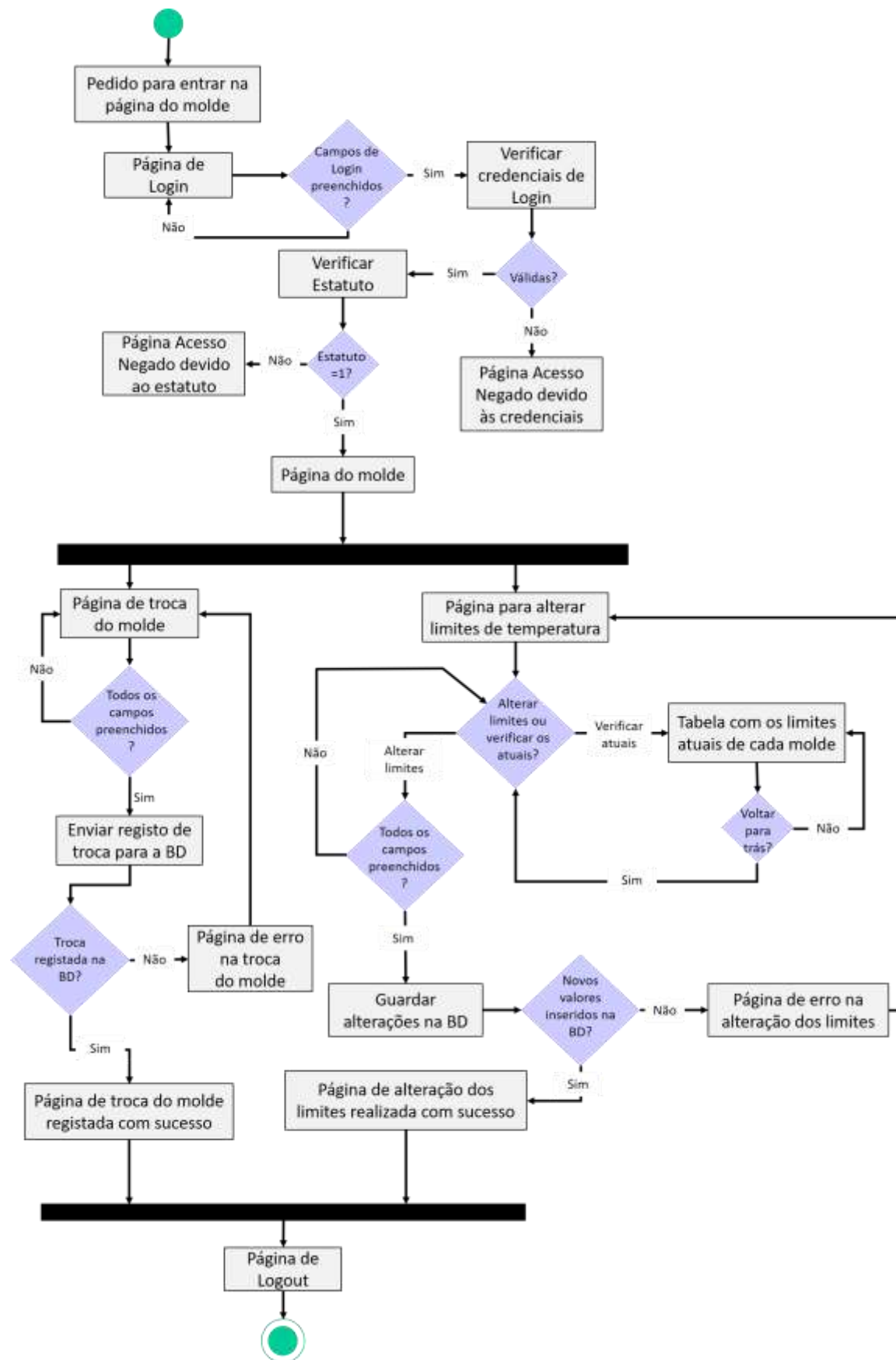
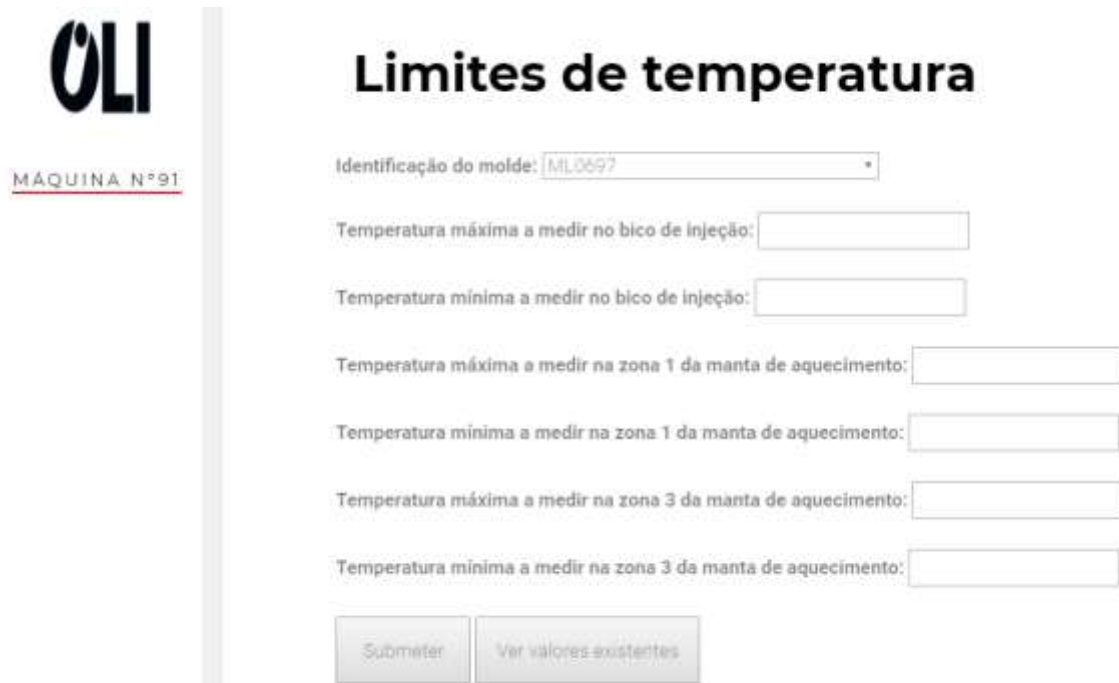


Figura 4.56 – Diagrama de atividades (em UML) da página do molde.



Caso o utilizador pretenda trocar o molde, deve preencher um formulário onde indica para que molde está a trocar e em que máquina o está a fazer. Se, por outro lado, o pretendido for alterar os valores limites de temperatura o utilizador deve preencher o formulário da Figura 4.57, onde indica qual o molde que quer alterar e definir os novos valores limite da temperatura.



O formulário, intitulado "Limites de temperatura", pertence ao sistema OLI. À esquerda, há uma barra lateral com o logótipo "OLI" e o texto "MÁQUINA Nº91". O formulário principal contém o seguinte:

- Identificação do molde:
- Temperatura máxima a medir no bico de injeção:
- Temperatura mínima a medir no bico de injeção:
- Temperatura máxima a medir na zona 1 da manta de aquecimento:
- Temperatura mínima a medir na zona 1 da manta de aquecimento:
- Temperatura máxima a medir na zona 3 da manta de aquecimento:
- Temperatura mínima a medir na zona 3 da manta de aquecimento:
- Dois botões na base: "Submeter" e "Ver valores existentes".

Figura 4.57 –Formulário para a alteração das temperaturas limites existentes.

Para o utilizador verificar quais os limites atuais, deve clicar no botão “Ver valores existente”, sendo direcionado para a tabela onde se encontram os limites da temperatura em função do molde.

### Página de Relatórios

A página de relatórios foi desenvolvida para calcular automaticamente indicadores de desempenho do departamento de manutenção, que neste caso são o MTTR e o MTBF e a partir destes calcular a disponibilidade do equipamento. O cálculo dos respetivos valores é feito segundo o diagrama de sequência da Figura 4.58.

O primeiro passo para obter os valores dos indicadores e da disponibilidade consiste no preenchimento do formulário, onde o utilizador indica qual a máquina, o intervalo de tempo para o qual pretende calcular os respetivos valores e o tempo de produção total nesse intervalo de tempo.

É importante salientar, que a contagem automática do tempo de produção a partir do microcontrolador não estava a funcionar como esperado, como foi explicado na secção, e estando as alterações feitas, atualmente em fase de teste, decidiu-se que o tempo de produção seria introduzido manualmente, devido ao interesse da empresa em ter esta página funcional o mais rapidamente possível.

Uma vez preenchidos todos os campos, o utilizador submete o formulário, sendo posteriormente enviado um pedido à base de dados pelos valores da coluna duração para a máquina e para o intervalo de tempo escolhidos pelo utilizador.

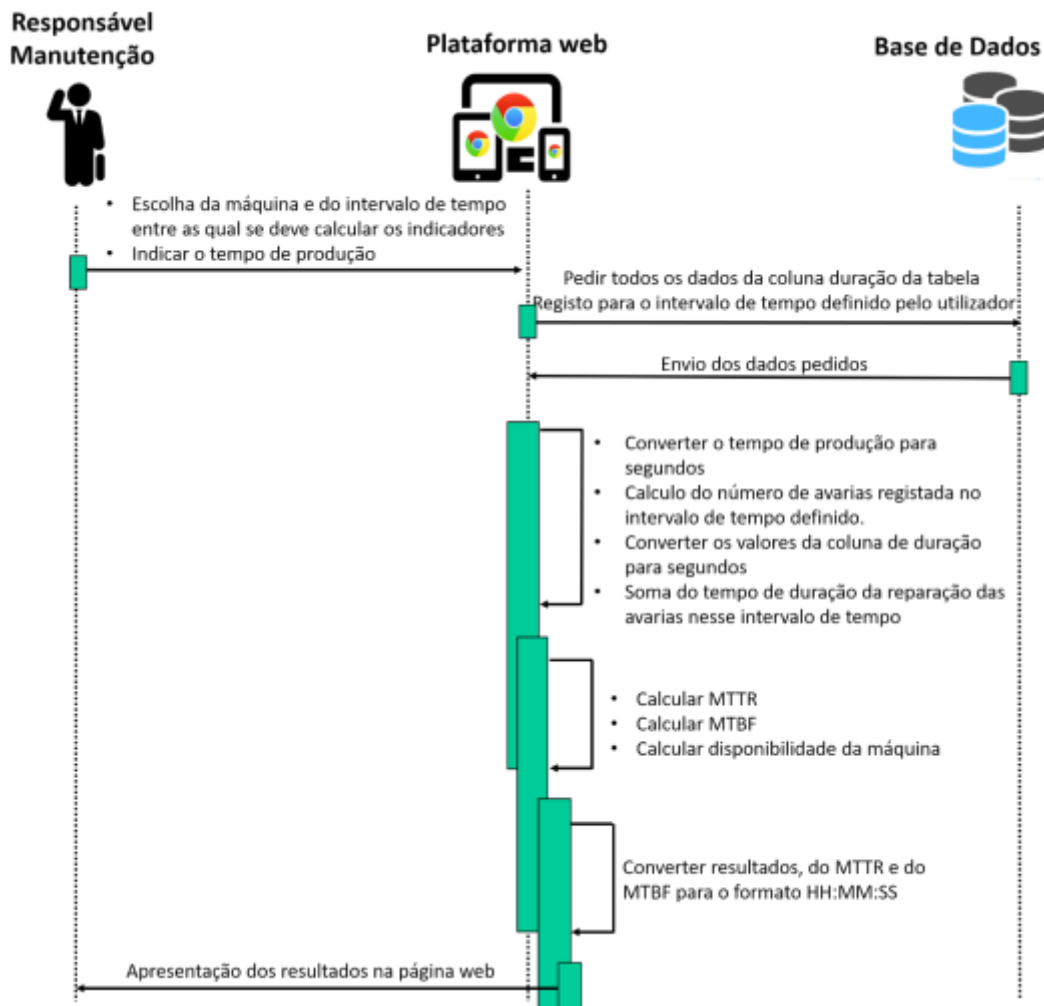


Figura 4.58 – Diagrama de sequência (em UML) para o cálculo dos indicadores MTTR e MTBF e da disponibilidade da máquina.

Após receber os dados da base de dados, o ficheiro PHP da plataforma *web* converte, para segundos, os valores da duração recebidos, procedendo de seguida à soma dos mesmos, obtendo-se o tempo total de avaria para respetiva máquina. Para determinar o número total de avarias, contam-se quantos resultados foram enviados pela base de dados. Possuindo estes dois valores, é calculado o indicador MTTR, segundo a equação (6). Para calcular o indicador MTBF para além dos valores anteriormente calculados é necessário converter o tempo de produção para segundos. Após conversão calcula-se o indicador MTBF, segundo a equação (7). Tendo os valores destes dois indicadores, calcula-se a disponibilidade da máquina (em percentagem) a partir da equação (5). Finalmente, os resultados dos indicadores são convertidos para o formato “horas:minutos:segundos”. Após todos estes cálculos, o utilizador pode visualizar na página *web* os resultados, sabendo assim o tempo médio de reparação, o tempo médio de avarias e a disponibilidade da máquina para o intervalo de tempo e máquina escolhidos (Figura 4.59).

Figura 4.59 – Exemplo do cálculo dos indicadores MTTR e MTBF e da disponibilidade da máquina.

### Páginas de Histórico

As páginas de histórico permitem aos utilizadores visualizar, em formato tabela, os dados guardados na base de dados. As várias páginas de históricos existentes na plataforma *web* desenvolvida são: a Página do histórico das várias intervenções de manutenção autónoma; a Página do histórico de avarias; e a Página os valores limites da temperatura para cada molde.

Na Figura 4 60 é apresentada, a título de exemplo, a página com o histórico das várias intervenções de manutenção autónoma realizadas.

### Histórico de Manutenção Autónoma

| Procurar... |           |                           |                    |                      |                            |                                |                        |
|-------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| User        | IDmáquina | Dispositivos<br>Segurança | Óleo<br>Hidráulico | Óleo<br>Lubrificante | Nível Óleo<br>Lubrificante | Termopares                     | Data                   |
| Barbara     | 91        | Em ordem                  | Em ordem           | Em ordem             | 11                         | Em ordem                       | 2018-09-21<br>20:36:24 |
| Barbara     | 91        | Em ordem                  | Em ordem           | Em ordem             | 5                          | Em ordem                       | 2018-09-21<br>20:37:11 |
| Barbara     | 91        | Em ordem                  | Mínimo             | Em ordem             | 11                         | Problema                       | 2018-09-23<br>19:45:42 |
| Barbara     | 91        | Em ordem                  | Mínimo             | Em ordem             | 11                         | Problema                       | 2018-09-23<br>19:46:52 |
| Barbara     | 91        | Problema                  | Em ordem           | Em ordem             | 10.8                       | Não realizada a<br>verificação | 2018-09-23<br>19:48:14 |
| Barbara     | 91        | Problema                  | Mínimo             | Em ordem             | 10.8                       | Não realizada a<br>verificação | 2018-09-23<br>19:48:31 |

Download Excel

Figura 4 60 – Exemplo de uma página de histórico.

Como já referido anteriormente, as duas primeiras páginas do histórico possuem um botão que permite ao utilizador fazer o download de um ficheiro Excel com todos os dados das intervenções de manutenção autónoma ou das avarias

### Páginas Sucesso e Erro

As páginas de sucesso e de erro foram desenvolvidas com o objetivo de informar se os dados foram ou não corretamente introduzidos na base de dados. No caso se terem sido corretamente armazenados, aparece ao utilizador uma página de sucesso, como por exemplo a página da Figura 4.61.



Figura 4.61 – Exemplo de uma página de sucesso.

Pelo contrário, não sendo os dados corretamente armazenados, o utilizador é direcionado para uma página de erro semelhante à apresentada anteriormente.

### Páginas Acesso Negado

As páginas de acesso negado aparecem ao utilizador sempre que este não possui permissão para entrar na página (Figura 4.62 (a)), isto é, quando o seu estatuto não é suficiente para entrar, ou sempre que o utilizador utiliza credenciais de *login* erradas (Figura 4.62 (b)).

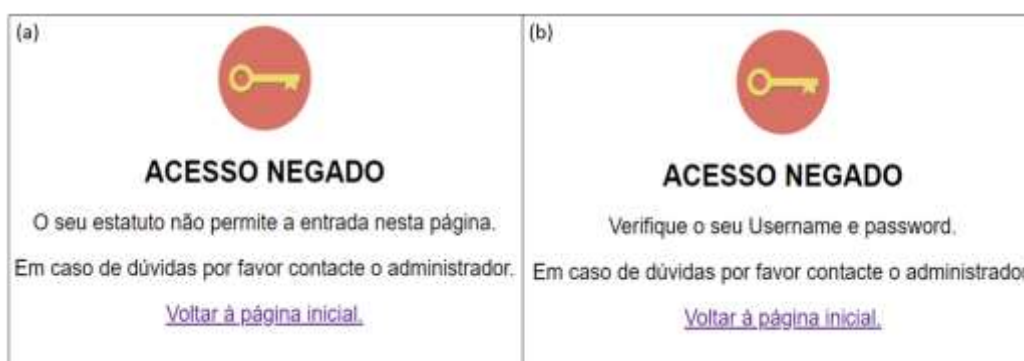


Figura 4.62 – (a) Página de acesso negado devido ao estatuto. (b) Página de acesso negado devido às credenciais de *login*.

#### 4.4.4 Utilização da plataforma desenvolvida para o planeamento da manutenção preditiva

Em consequência do curto período de monitorização dos parâmetros críticos e da não existência de um registo sólido de avarias e respetivas causas, por parte da empresa, não foi

possível detetar, com os dados obtidos, padrões de avaria para elaborar algoritmos de previsão (com exceção da deteção de fugas de óleo lubrificante) e para treinar algoritmos de *machine learning*, como foi inicialmente pensado fazer. Contudo, apesar deste obstáculo, foi desenvolvido o procedimento que deverá ser utilizado para a deteção de padrões de avaria, a longo prazo. O procedimento desenvolvido é ativado cada vez que o equipamento tem uma avaria, como se pode visualizar pelo diagrama de atividades da Figura 4.63.

Com o intuito de testar a validade deste procedimento, foram analisadas as avarias presentes no registo de paragens fornecido, cujo excerto é apresentado na Tabela G.1 do Apêndice G que têm como causa “Avaria Máquina”, isto porque, “Avaria Molde” está relacionada com os parâmetros do molde (que não estão a ser monitorizados) e a “Avaria Periférico” está relacionada com componentes que não fazem parte da máquina (exemplo: Robot de extração de peça). Ao analisar a tabela referida anteriormente detetaram-se duas avarias com a tipologia pretendia, uma no dia 22-06-2018 às 10:59:43, e outra no dia 19-07-2018 às 01:23:44.

De acordo com o diagrama mencionado, tendo sido detetada uma avaria deve-se, de seguida, definir a sua “Causa Raiz”. Para tal, uma vez que a plataforma desenvolvida ainda não se encontra disponível para os colaboradores da empresa, foram consultados os registos de reparação no *software* IFS. Neste não foi encontrado nenhum registo relacionado com a primeira avaria detetada, o que indica que o procedimento de reação à deteção de uma avaria, apresentado na seção 2.3, não foi cumprido. Para a segunda avaria existe registo no IFS, que indica que a avaria se deveu a um rasgo de uma manga no coletor de águas quentes, não também indicada a “Causa Raiz” que originou esse acontecimento.

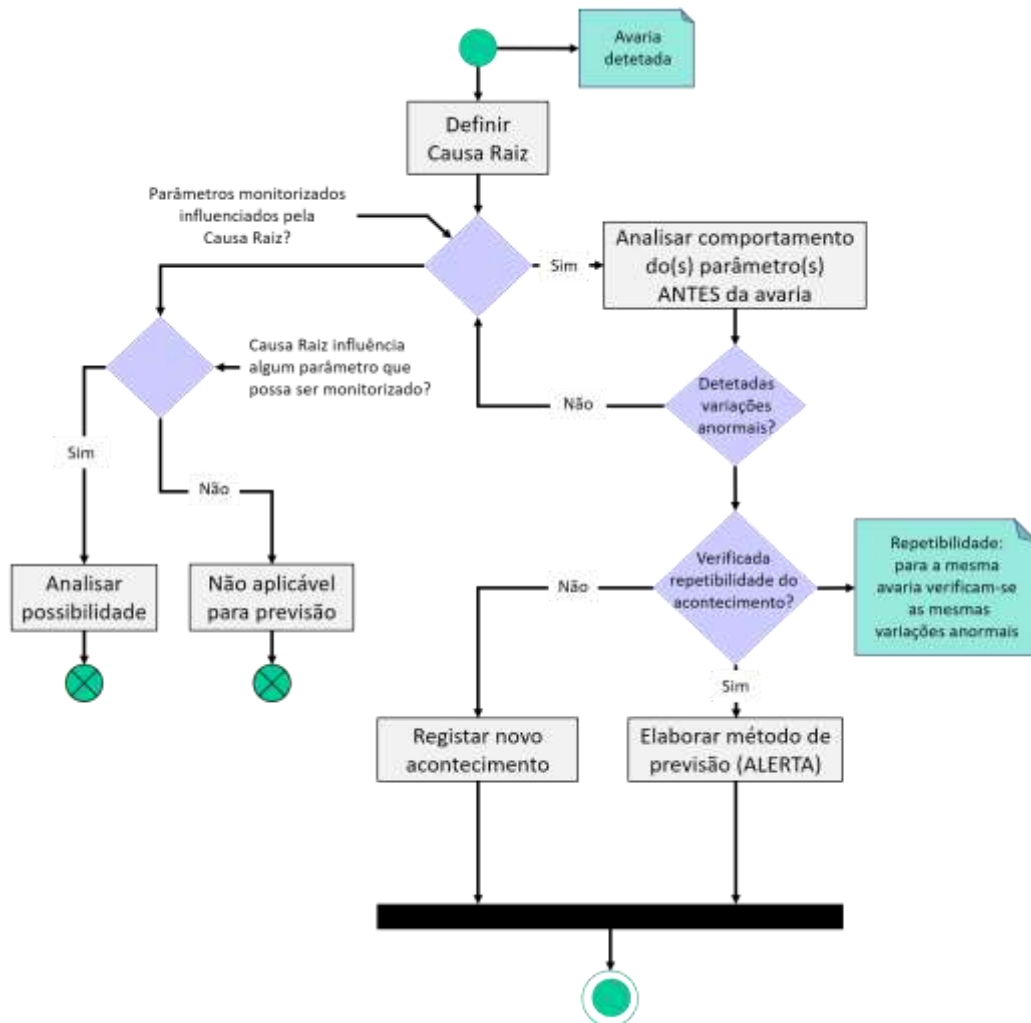


Figura 4.63 – Procedimento para a detecção e tratamento de padrões de avaria.

Mesmo não sabendo a “Causa Raiz” das avarias, decidiu-se continuar o procedimento e, considerar que os parâmetros monitorizados são influenciados pela mesma. Assim, no passo seguinte procedeu-se à análise de todos os parâmetros que até à data da avaria estavam a ser monitorizados, temperatura de injeção, temperaturas na zona 1 e 3 do cilindro (nesta altura o sensor de pressão ainda não estava instalado na máquina).

Ao analisar os parâmetros referidos, para a primeira avaria, verificou um aumento das temperaturas ao longo do cilindro, seguido de uma redução das mesmas, como é demonstrado pelo gráfico da Figura 4.64. Ainda se pode dizer que a respetiva variação das temperaturas foge significativamente dos restantes valores medidos, neste sentido pode dizer-se que foram detetadas condições anormais nas medições. No entanto, como não existe um histórico de dados nem de avarias, não é possível verificar a repetibilidade do acontecimento, de forma a elaborar algoritmos de deteção de avarias. Nesta conformidade registam-se as variações anormais detetadas para futura análise.

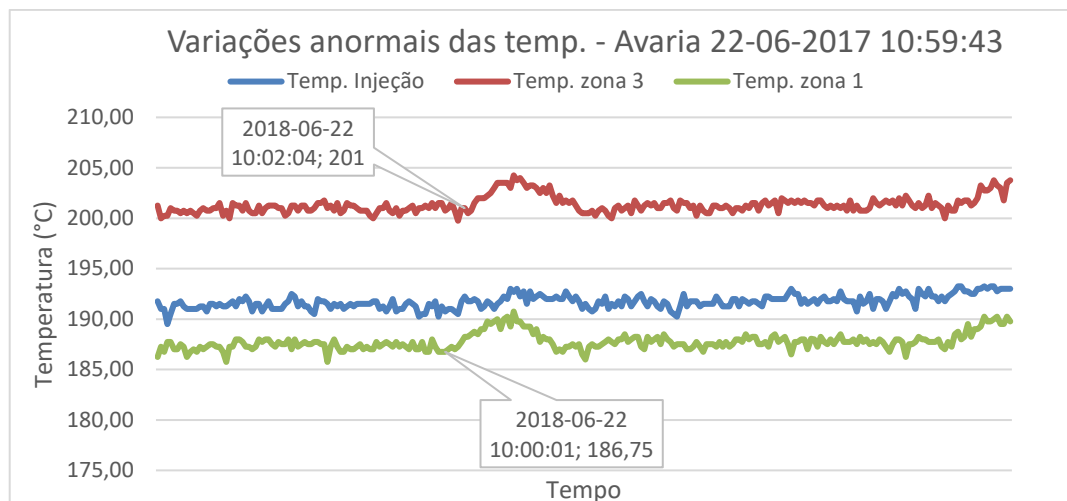


Figura 4.64 – Condições de funcionamento anormais detetadas para a primeira avaria.

Para a segunda avaria verificou-se um aumento gradual da temperatura do bico de injeção, sendo que, passado algum tempo, começa a subir a temperatura da zona 2 do cilindro, como se pode observar pelo gráfico da Figura 4.65.

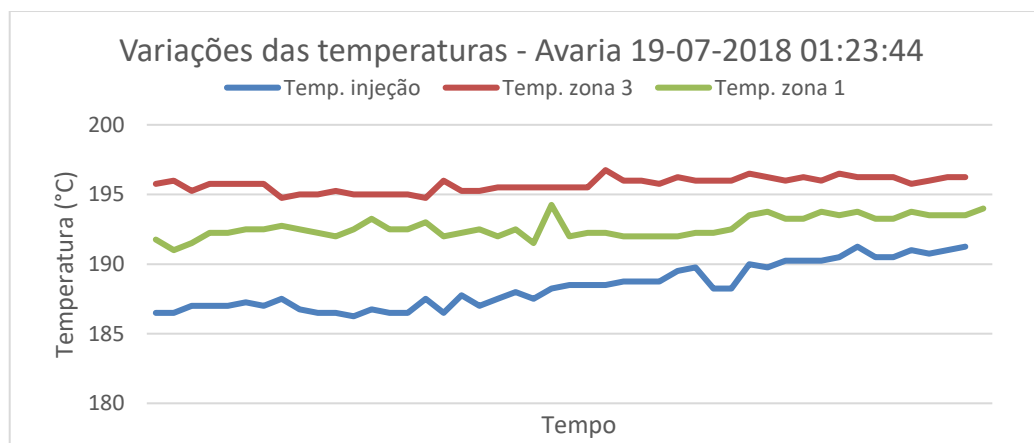


Figura 4.65 – Condições de funcionamento detetadas para a segunda avaria.

Contudo verificou-se que a troca de molde ocorreu dia 19-07-2017 à 01:05:09, sendo que o mais provável é que o aumento de temperatura seja consequência do *setup* do molde e não do rasgo da manga. Assim, pode pressupor-se que as causas da segunda avaria detetada não influenciam os parâmetros de temperatura medidos, devendo ser novamente realizado o procedimento do diagrama da Figura 4.63, para verificar se a previsão é ou não aplicável para esta avaria.





## 5 Considerações finais

### 5.1 Conclusões

Foram demonstrados, conforme exposto na secção 2.4, os benefícios financeiros associados à implementação da manutenção preditiva. Para além dos benefícios financeiros, verificaram-se, através da análise PESTAL, as tendências do mercado. Foram propostas um conjunto de medidas para implementar mudanças na estrutura da empresa, de modo a ir ao encontro das referidas tendências e, desta forma, alcançar a performance esperada.

Através do diagrama dos contributos da plataforma a desenvolver (Figura 2.3), foi possível demonstrar em que medida a solução desenvolvida permite alcançar a performance esperada e, em consequência, contribuir para o aumento da competitividade da empresa em causa, bem como para todas as outras organizações que optem por investir na manutenção preditiva.

Perante o referido, pode afirmar-se ainda que o investimento na manutenção preditiva, como contribui para o aumento da competitividade, sendo este um fator essencial, favorece a continuidade, a longo prazo, de uma organização no mercado. Para obter os benefícios expostos nos parágrafos anteriores, foi necessário alinhar as tendências do mercado com os objetivos propostos pelas partes interessadas no projeto (Universidade de Aveiro e OLI).

Com o intuito de demonstrar até que ponto os objetivos propostos foram cumpridos, elaborou-se uma tabela resumo (Tabela 5.1) onde se salienta o alinhamento entre objetivos propostos e suas evidências ao longo deste trabalho, que demonstram o seu cumprimento.

Tabela 5.1 – Objetos versus evidências.

| OBJETIVOS  | EVIDÊNCIA DE CUMPRIMENTO  |
|--|---|
| Desenvolver plataforma <i>web</i> para o planeamento da manutenção preditiva | Secção 4.4 e Trabalho Futuro  |
| Auxiliar a tarefa de manutenção  | Apêndice J (Trabalho Futuro)  |
| Permitir a redução dos custos associados à manutenção                        | Secção 2.4  |
| Permitir monitorizar, em tempo real, os parâmetros críticos do equipamento   | Temperatura de injeção:<br>secção 4.3.2 e 4.4.3 (pág. Monitorização)<br>Perfil de temperaturas ao longo do cilindro:<br>secção 4.3.2 e 4.4.3 (pág. Monitorização)<br>Pressão de injeção:<br>secção 4.3.3 e 4.4.3 (pág. Monitorização) |

|  |  |
|--|--|
| Desenvolver <i>hardware</i> para medição dos parâmetros críticos   | Secção 4.3   |
| Alertar, em tempo real, a equipa de manutenção para condições de funcionamento anormais por parte do equipamento | ALERTA - Irregularidades nas temperaturas: secção 4.4.2<br>ALERTA - Possível fuga de óleo lubrificante: secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma)<br>INFORMAÇÃO - Relatório com resultados da manutenção autónoma: secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma) |
| Elaborar e integrar algoritmos na plataforma para detetar padrões de avaria                                      | Desenvolvido algoritmo de deteção de fugas de óleo lubrificante: secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma)<br>Elaborado procedimento para deteção de padrões de avaria: secção 4.4.4   |
| Plataforma compatível com qualquer dispositivo eletrónico  | Desenvolvida plataforma <i>web</i> : secção 4.4.3  |
| Permitir o acesso à plataforma em qualquer lugar e em qualquer altura  | Desenvolvida plataforma <i>web</i> : secção 4.4.3  |
| Aumentar a eficiência da manutenção  | Analisar impacto interno da solução proposta: secção 2.4<br>Analisar impacto externo da solução proposta: secção 2.5   |
| Diminuir, a longo prazo, o tempo de reparação (MTTR)   | Analisar impacto interno da solução proposta: secção 2.4<br>Analisar impacto externo da solução proposta: secção 2.5   |
| Aumentar, a longo prazo, o tempo médio entre avarias (MTBF)  | Analisar impacto interno da solução proposta: secção 2.4<br>Analisar impacto externo da solução proposta: secção 2.5   |
| Calcular, de forma automática, os indicadores MTTR e MTBF  | Secção 4.4.3 (pág. Relatórios)   |
| Interface de fácil manuseamento para monitorização dos parâmetros  | Apêndice J (Trabalho futuro)   |
| Identificar o técnico de manutenção que interveio na máquina   | Secção 4.4.3 (pág. Registo de avarias)   |
| Registar o tempo de duração associado a cada intervenção da manutenção   | Secção 4.4.3 (pág. Registo de avarias)   |
| Manipular automaticamente os dados armazenados para permitir o cálculo dos indicadores                           | Secção 4.4.3 (pág. Relatórios)   |
| Permitir exportar os dados do histórico de avarias para um ficheiro Excel  | Secção 4.4.3:<br>pág. registo de avarias<br>pág. histórico   |
| Obter número de ciclos da máquina  | Desenvolvido <i>hardware</i> para medição: secção 4.3.4<br>Desenvolvida informação visual (gráfico) para monitorização dos ciclos: secção 4.4.3 (pág. Monitorização)   |

Foram ainda implementadas outras funcionalidades, de modo a responder a necessidades detetadas, não previstas nos objetivos definidos pelas partes interessadas, e que, no entendimento do autor, criam valor para as mesmas e, em consequência, na solução apresentada.

O problema mais grave, detetado durante a elaboração deste trabalho, encontra-se relacionado com a quantidade e a qualidade dos dados relativos à manutenção. O facto de a informação se encontrar dispersa e ser escassa, incompleta e imprecisa, tornou difícil a sua utilização para determinar os parâmetros críticos do equipamento e impossibilitou, por completo, a deteção de padrões usando o histórico dos programas (IFS e STAIN). Em conformidade, desenvolveu-se a página de registo de avarias onde se alocam todos os dados relacionados com a reparação (avaria, “Causa Raiz”, processo de reparação, duração, etc.).

Esta falta de informação aliada ao número reduzido de avarias por parte da máquina (este equipamento possui uma disponibilidade média de 98%, isto é, o equipamento encontra-se capaz de executar a sua função 98% do tempo de produção) resultou na impossibilidade de detetar padrões de avaria. Desta forma, foi desenvolvido um procedimento que deve ser seguido pela equipa de manutenção para, face a uma avaria, detetar e tratar padrões da mesma, sendo esta a base para a elaboração de um planeamento preditivo.

Para além disto, verificou-se que as ações de manutenção recomendadas pelo fabricante do equipamento não eram realizadas, o que traz consequências negativas para o mesmo. Nesta perspetiva, decidiu-se converter as verificações mais frequentes (a cada oito horas) em intervenções de manutenção autónoma, acrescentando-se a página de manutenção autónoma da plataforma.

Implementaram-se também algumas mais-valias, face aos objetivos definidos pelas entidades, como é o caso das restrições de acesso. Estas existem, de modo a barrar o acesso a determinados utilizadores.

Na Tabela 5.2 são apresentadas todas as funcionalidades acrescentadas à solução desenvolvida, incluindo as mencionadas anteriormente, e não previstas nos objetivos predefinidos pelas partes interessadas.

Tabela 5.2 – Novas funcionalidades não previstas nos requisitos.

| Outros NÃO PREVISTOS   | EVIDÊNCIA  |
|--|--|
| Informação respeitante à Manutenção encontra-se dispersa por diferentes <i>softwares</i> | Secção 2.3 e 4.2   |
| Informação reduzida e ineficaz na perspetiva da manutenção                               | Apêndice E e Apêndice G (exemplo de registo na empresa)<br>Desenvolvida página de registo de avarias e das suas causas raiz, com base no plano de manutenção preventiva definido pelo fabricante:<br>secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma e pág. Registo de avarias) |

|  |   |
|--|---|
|  | Desenvolvido procedimentos para detetar e tratar padrões de avaria (base da manutenção preditiva: secção 4.4.4)   |
| Inexistência de um plano de manutenção autónoma  | Desenvolvida página <i>web</i> que permite incorporar <i>checklist</i> de manutenção: secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma)<br>Desenvolvido <i>checklist</i> para programa de manutenção a cada 8h e incorporado na ferramenta: secção 4.4.3 (pág. Manutenção Autónoma) |
| Interface de fácil manuseamento alargado a toda a plataforma   | Apêndice J (Trabalho Futuro)  |
| Calcular, de forma automática, o indicador de disponibilidade da máquina   | Secção 4.4.3 (pág. Relatórios)  |
| Permitir exportar os dados do histórico de manutenção autónoma para um ficheiro Excel                                      | Secção 4.4.3:<br>pág. Manutenção Autónoma<br>pág. Histórico   |
| Permitir exportar os parâmetros (para um intervalo de tempo definido pelo utilizador) monitorizados para um ficheiro Excel | Secção 4.4.3:<br>pág. Monitorização   |
| Controlo de acessos  | Criados níveis de acesso, hierarquizados: secção 4.4.3 (pág. Gestão de acessos)   |

É importante salientar, que a solução desenvolvida foi testada na empresa, sendo avaliada a performance do *hardware* e respetivo *software* de recolha de dados em condições reais e intensivas de funcionamento. Isto é, foram monitorizados os parâmetros da máquina industrial em tempo real e durante longos períodos de tempo (24/24horas). Este teste superou as expectativas, uma vez que mediu os parâmetros pretendidos corretamente e não apresentou problemas de performance durante um período de teste de aproximadamente quatro meses.

## 5.2 Trabalhos futuros

Nesta secção, são apresentadas oportunidades de melhoria do presente trabalho.

As funcionalidades da plataforma *web* e o algoritmo de deteção de fugas de óleo lubrificante não conseguiram, até à data, ser testados em condições reais, uma vez que tanto a plataforma *web* desenvolvida, como o plano de manutenção autónoma não se encontram ainda inteiramente implementados a nível operacional. Nesse sentido, o primeiro ponto de melhoria passa pela sua implementação seguida de um período de testes, de mais ou menos um mês. Após este período, os funcionários da empresa que tiveram contacto com a plataforma devem avaliá-la através do teste de usabilidade proposto no Apêndice J.

De seguida, seria vantajoso tornar automático o processo de medição do nível de óleo, através da utilização de um sensor de nível. Desta forma, o processo de manutenção autónoma torna-se mais fácil e menos suscetível a erros humanos. Ainda em relação à manutenção autónoma propõe-se, como trabalho futuro, acrescentar outras *checklists* introduzindo, por exemplo, as ações que devem ser verificadas a cada 40 horas, de acordo

com o plano de manutenção do fabricante apresentado no Apêndice D. Outra melhoria consiste na criação de um alerta visual, que avise o operador que é altura de a manutenção autónoma.

Existe ainda a possibilidade de melhorar o envio de alertas resultantes da monitorização dos limites de temperatura. Neste contexto, devem ser estudados os *setups* relacionados com as trocas de molde para que, durante o tempo de estabilização do mesmo, o responsável da manutenção não receba *emails* de aviso.

Adicionalmente, e no âmbito do planeamento da manutenção preditiva, pode ser introduzida uma página onde se armazenam os resultados do procedimento de deteção de avarias (Figura 4.63).

Finalmente, propõe-se a identificação de outros componentes ou parâmetros da máquina que devem ser instrumentados, para a determinação de padrões de avarias da mesma.



## Referências Bibliográficas

AGRAWAL, A. R.; PANDELIDIS, I. O.; PECHT, M. - Injection-molding process control - A review. **Polymer Engineering and Science**. 27:18 (1987) 1345–1357. doi: 10.1002/pen.760271802.

ALMEIDA, Márcio Tadeu De - Manutenção Preditiva: Benefícios e Lucratividade. (2016) 5.

ALSYOUF, Imad - The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. **International Journal of Production Economics**. . ISSN 0925-5273. 105:1 (2007) 70–78. doi: 10.1016/J.IJPE.2004.06.057.

AVELAS, Eduardo - **Leitura e datalogger de temperatura utilizando um termopar tipo K e o MAX6675** [Em linha], atual. 2018. [Consult. 29 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://easytromlabs.com/arduino/arduino-lab-19-leitura-e-datalogger-de-temperatura-utilizando-um-termopar-tipo-k-e-o-max6675/>>.

BARETA, Deives Roberto - **Estudo comparativo e experimental de materiais aplicados a insertos mancho de moldes de injeção dentro do conceito híbrido** [Em linha]. Caxias do Sul : Universidade de Caxias do Sul, 2007. Disponível em WWW:<URL:<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/209>>.

BLASIO, Carlos Anibal De - **Solução de Defeitos na Moldagem por Injeção de Termoplásticos** [Em linha]. Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em WWW:<URL:[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/263408/1/DeBlasio\\_CarlosAnibal\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/263408/1/DeBlasio_CarlosAnibal_M.pdf)>.

BURKE, Rick *et al.* - The smart factory. (2017).

CHONOLES, Jesse; SCHARDT, James A. - **UML2 for Dummies**. [S.l.] : Wiley Publishing, Inc., 2003. ISBN 0764526146.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira - **Rumo à indústria 4.0** [Em linha]. [S.l.] : Universidade de Coimbra, 2016 [Consult. 18 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/36992>>.

CORRÊA, Diego Augusto - **Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade em rede de distribuição aérea convencional de energia elétrica: o caso do circuito alimentador Guabirotuba em Curitiba** [Em linha]. [S.l.] : Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 20 Out. 2012 [Consult. 30 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1058>>.

CURREY, Martyn - **ESP8266 and the Arduino IDE** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 22 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.martyncurrey.com/esp8266-and-the-arduino-ide/#ESP8266\\_Basic\\_Specs](http://www.martyncurrey.com/esp8266-and-the-arduino-ide/#ESP8266_Basic_Specs)>.

DUNN, William C. - **Introduction to Instrumentation , Sensors , and Process Control**. Norwood : ARTECH HOUSE, INC., 2006. ISBN 1580530117.

EBELING, Charles E. - **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering** [Em linha]. [S.l.] : McGraw-Hill, 1997 [Consult. 31 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://dlx.b-ok.org/genesis/1617000/b1c8032cc6b02cbf01fa118f5f450a91/\_as/[Charles\_Ebeling]\_An\_Introduction\_To\_Reliability\_a(b-ok.org).pdf>. ISBN 0-07-018852-1.

EDENHOFER, Ottmar *et al.* - **Fifth Assessment Report - Mitigation of Climate Change** [Em linha]. New York : [s.n.] [Consult. 7 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

EFTHYMIOU, K. *et al.* - On a Predictive Maintenance Platform for Production Systems. **Procedia CIRP**. . ISSN 2212-8271. 3:2012) 221–226. doi: 10.1016/J.PROCIR.2012.07.039.

FARIA, André Cunha Correia De - **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto** [Em linha]. [S.l.] : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013 [Consult. 16 fev. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72585/1/000155477.pdf>.

FAROUQ, Youssef *et al.* - Temperature measurements in the depth and at the surface of injected thermoplastic parts. **Measurement**. . ISSN 0263-2241. 38:1 (2005) 1–14. doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2005.04.002.

FILIFE, Filipe Manuel Correia - **Gestão e organização da manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estruturas ferroviárias** [Em linha]. [S.l.] : Universidade do Porto, 2006 [Consult. 6 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12374/2/Texto integral.pdf>.

FONDITAL GROUP - **Fondital Group - The group** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 26 fev. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.fonditalgroup.com/eng/gruppo.htm#>.

GANDOMI, Amir; HAIDER, Murtaza - Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International Journal of Information Management**. . ISSN 0268-4012. 35:2 (2015) 137–144. doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2014.10.007.

GOURIVEAU, Rafael; MEDJAHED, Kamal; ZERHOUNI, Noureddine - **From Prognostics and Health Systems Management to Predictive Maintenance 1**. [S.l.] : ISTE Ltd, 2016. ISBN 978-1-84821-937-3.

HAMILTON, Kim; MILES, Russell - **Learning UML 2.0**. [S.l.] : O'Reilly, 2006. ISBN 9780596009823.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris - Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. Em **2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)** [Em linha]. [S.l.] : IEEE, Jan. 2016 [Consult. 7 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/>. ISBN 978-0-7695-5670-3

HIGGINS, R. Lindley; MOBLEY, R. Keith - **Maintenance Engineering Handbook**. Sixth Edit ed. [S.l.] : McGraw-Hill, 2002. ISBN 0071394524.



HUANG, Ming-Shyan - Cavity pressure based grey prediction of the filling-to-packing switchover point for injection molding. **Journal of Materials Processing Technology**. . ISSN 0924-0136. 183:2–3 (2007) 419–424. doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2006.10.037.

JARDINE, Andrew K. S.; LIN, Daming; BANJEVIC, Dragan - A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**. . ISSN 0888-3270. 20:7 (2006) 1483–1510. doi: 10.1016/J.YMSSP.2005.09.012.

JAYAL, A. D. *et al.* - Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**. . ISSN 1755-5817. 2:3 (2010) 144–152. doi: 10.1016/J.CIRPJ.2010.03.006.

JOBTONIC - **Estatística de níveis salariais da profissão Técnico Automação Industrial em Portugal** [Em linha] [Consult. 29 set. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://portugal.jobtonic.pt/salary/44414/44143.html>.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes - **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0** [Em linha] [Consult. 7 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.acatech.de/fileadmin/user\_upload/Baumstruktur\_nach\_Website/Acatech/root/de/Material\_fuer\_Sonderseiten/Industrie\_4.0/Final\_report\_\_Industrie\_4.0\_accessible.pdf>.

KEEBLE, Brian R. - The Brundtland report: 'Our common future'. **Medicine and War**. 4:1 (1987) 17–25. doi: 10.1080/07488008808408783.

KNACK, Oliver - **11 Injection Molding Defects and How to Prevent Them** [Em linha], atual. 2015. [Consult. 20 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.intouch-quality.com/blog/injection-molding-defects-and-how-to-prevent>.

KURT, Mustafa *et al.* - Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products. **Materials & Design**. . ISSN 0261-3069. 30:8 (2009) 3217–3224. doi: 10.1016/J.MATDES.2009.01.004.

LANEY, Doug - 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety. (2001).

LIU, Shih-Jung; SU, Po-Chang; LIN, Kun-Yeh - In-situ temperature measurements in the depths of injection molded parts. **Measurement**. . ISSN 0263-2241. 42:5 (2009) 771–777. doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2009.01.002.

LOPES, Isabel; PIRES, L. C. M.; BASTOS, Pedro - A decentralized predictive maintenance system based on data mining concepts. Em **Business Sustainability I** [Em linha]. [S.l.] : Universidade do Minho, ISEP, 2010 [Consult. 16 fev. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/7208>. ISBN 978-972-8692-48-3

LUCKE, Dominik; CONSTANTINESCU, Carmen; WESTKÄMPER, Engelbert - Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. Em **Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier** [Em linha]. London : Springer London, 2008. [Consult. 7 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://link.springer.com/10.1007/978-1-84800-267-8\_23>. p. 115–118.

MANERO, Federico - **Cavity Temperature Measurement and Control in Thermoplastics Injection Molding** [Em linha]. [S.l.] : McGill University, 1996. [Consult. 14 mar. 2018]. Disponível em

WWW:<URL:http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk2/ftp01/MQ29614.pdf>.

MARTIN - **Industry 4.0: Definition, Design Principles, Challenges, and the Future of Employment** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 10 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.cleverism.com/industry-4-0/>.

MASCARENHAS, Wesley Novaes; AHRENS, Carlos Henrique; OGLIARI, André - Defeitos de componentes de plástico moldados por injeção: Análise de causas e soluções através de um sistema CAE. (2005).

MATOS, João Pedro Da Silva - Uma abordagem para integração de Sistemas de Manufatura num contexto de Indústria 4.0. (2017).

MAURO, Andrea DE; GRECO, Marco; GRIMALDI, Michele - What is big data? A consensual definition and a review of key research topics. Em **AIP Conference Proceedings** [Em linha]. [S.l.] : American Institute of Physics, 17 Fev. 2015. [Consult. 9 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4907823>.

MOBLEY, R. Keith - **An introduction to predictive maintenance**. [S.l.] : Elsevier Science, 2002. ISBN 0750675314.

MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. - **O RCM na Quarta Geração da Manutenção de ativos**. [S.l.] : RG Editores, 2011.

NUNEZ, David; BORSATO, Milton - Panorama atual dos sistemas ciber-físicos no contexto da manufatura. Em [Em linha]. Brasil : [s.n.] Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/282349174\_PANORAMA\_ATUAL\_DOS\_SISTEMAS\_CIBER-FISICOS\_NO\_CONTEXTO\_DA\_MANUFATURA>.

OLI - **MÓDULO SANITÁRIO** [Em linha] [Consult. 28 set. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.oli-world.com/pt/produtos/instalacao\_sanitaria/modulo\_sanitario.html>.

OLI - **Relatório de Sustentabilidade** [Em linha] [Consult. 28 fev. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.oli-world.com/download.php?f=100&key=950d500bcb36c36ee8f6c993eee667b9>.

OLI - SISTEMAS SANITÁRIOS, S. A. - **A OLI** [Em linha], atual. 2018. [Consult. 1 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.oli-world.com/pt/empresa/a\_oli.html>.

ORACLE - Bringing the Value of Big Data to the Enterprise. (2013) 2.

PARK, John; MACKAY, Steve - **Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems**. [S.l.] : IDC Technologies, 2003. ISBN 0750657960.

PESTLE ANALYSIS - **What is PESTLE Analysis? A Tool for Business Analysis** [Em linha] [Consult. 6 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://pestleanalysis.com/what-is-pestle-analysis/>.

PINTO, João Paulo - **Manutenção Lean**. Lisboa : Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2013. ISBN 978-972-757-877-1.

POSTAWA, P.; KOSZKUL, J. - Change in injection moulded parts shrinkage and weight as a

function of processing conditions. **Journal of Materials Processing Technology**. . ISSN 0924-0136. 162–163:(2005) 109–115. doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2005.02.241.

POUZADA, A. S.; CUNHA, A. M. - Processamento de Termoplásticos. Guimarães. (1998).

RAMOS, Pedro; FARINHA, José - UML: Diagramas de Classes. (2006).

RAMOS, Pedro Gonçalo Diniz - **Organização e Gestão da Manutenção Industrial : Aplicação Teórico-prática às Fábricas Lusitana - Produtos Alimentares, S.A.** [Em linha]. [S.l.] : Universidade da Beira Interior, 2012. [Consult. 31 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2439/1/Tese\_PedroRamos\_M3905.pdf>.

REIS, Carolina; ESTEVES, Carlos - Diz-me quanto ganhas, dir-te-ei onde trabalhas... **Expresso**. [Em linha] (19 ago. 2017). . [Consult. 27 set. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://expresso.sapo.pt/sociedade/2017-08-19-Diz-me-quanto-ganhas-dir-te-ei-onde-trabalhas#gs.vj8wOGM>.

RIBEIRO, Joaquim Meireles - O conceito da indústria 4.0 na confeção: análise e implementação. (2017).

RIPKA, Pavel; TIPEK, Alois - **Modern Sensors Handbook**. [S.l.] : ISTE Ltd, 2007. ISBN 9781905209668.

ROSE, Karen; ELDRIDGE, Scott; CHAPIN, Lyman - The Internet of Things: An overview. (2015).

ROUBAUD, Jennifer - **How Predictive Maintenance Fits into Industry 4.0** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 10 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15798/How-Predictive-Maintenance-Fits-into-Industry-40.aspx>.

RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar; BOOCH, Grady - **The Unified Modeling Language Reference Manual** [Em linha]. [S.l.] : Pearson Education, Inc., 2004. Disponível em WWW:<URL:http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/664982>. ISBN 0-321-24562-8.

SANTOS, Flávio Manuel Casqueiro - **Manutenção preditiva e pró-activa: filosofias alternativas ou complementares: estudo de caso** [Em linha]. [S.l.] : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013. [Consult. 30 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/3077>.

SANTOS, José Paulo - Apontamentos Informática Industrial: Bases de dados. (2015) 12.

SAS - **Big Data** [Em linha] [Consult. 7 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.sas.com/en\_us/insights/big-data/what-is-big-data.html>.

SCHMIDT, Bernard; WANG, Lihui; GALAR, Diego - Semantic Framework for Predictive Maintenance in a Cloud Environment. **Procedia CIRP**. . ISSN 2212-8271. 62:(2017) 583–588. doi: 10.1016/J.PROCIR.2016.06.047.

SCHWAB, Klaus (World Economic Forum) - **The Fourth Industrial Revolution**. ISBN 9781944835002.

SERRANO, L. M. V. *et al.* - Sistemas de Aquisição , Processamento e Armazenamento de Dados. **Sociedade Portuguesa de Metrologia (SPMet)**. (2004) 1–15.

SILVA, Edson Miranda Da - **Indústria 4.0 e a Sustentabilidade** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 15 jul. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://pt.linkedin.com/pulse/indústria-40-e-sustentabilidade-edson-miranda-da-silva>>.

SILVA, Sara Filipa Alves Pina Da - Integração e adaptação do SAP e Indústria 4.0 na área de manutenção industrial no Grupo Bosch Termotecnologia, S.A. (2017).

SINOTECH - **Injection molded parts** [Em linha] [Consult. 28 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.sinotech.com/wp-content/uploads/injectionMolded3.gif>>.

SOUSA, Luís Filipe Anjos De - **Concepção de uma base de dados para apoio ao desenvolvimento de novos produtos** [Em linha]. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2008. [Consult. 9 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://ria.ua.pt/handle/10773/1551>>.

SOUSA, Pedro Miguel Pinho Marques De - **Normalização e automatização do processo de orçamentação numa empresa do tipo Job Shop** [Em linha]. [S.l.] : Universidade de Aveiro, 2016. [Consult. 9 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://ria.ua.pt/handle/10773/19124>>.

UML DIAGRAMS - **UML Activity Diagram Controls** [Em linha] [Consult. 9 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.uml-diagrams.org/activity-diagrams-controls.html>>.

VISHAY INTERTECHNOLOGY - Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection. (2010).

WENGER, Mitch - **Designing Databases from UML Class Models** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 13 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.youtube.com/watch?v=udkKt0jwWQs>>.

WIKI INSTRUMENT CORPORATION - Wika Modelo S-10. (2016).

WONG, Ho Yin; FUNG, Ka Tsai; GAO, Furong - Development of a transducer for in-line and through cycle monitoring of key process and quality variables in injection molding. **Sensors and Actuators A: Physical**. 141:2 (2008) 712–722. doi: 10.1016/J.SNA.2007.10.038.

YAN, Weizhong; QIU, Hai; IYER, Naresh - Feature Extraction for Bearing Prognostics and Health Management (PHM) - A Survey (Preprint). (2008).

## Apêndices

## Apêndice A

### Cálculos dos indicadores MTTR e MTBF

Pela listagem de avarias do *software* STAIN, fornecida pela empresa foi possível determinar os indicadores MTTR e MTBF entre janeiro de 2016 e fevereiro de 2018, como apresentado na Tabela A.1. Estes indicadores são essenciais para avaliar o desempenho do departamento de manutenção e para determinar o impacto das avarias nos custos totais da empresa.

Tabela A.1 – Cálculo dos valores dos indicadores MTTR e MTBF entre janeiro de 2016 e fevereiro de 2018.

| <b>Data</b>    | <b>MTTR</b>                 | <b>MTBF</b>                 |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Janeiro 2016   | 1:34:42                     | 20:35:16                    |
| Fevereiro 2016 | 0:01:26                     | 467:07:52                   |
| Março 2016     | 0:00:00                     | 0:00:00                     |
| Abril 2016     | 0:15:57                     | 215:28:02                   |
| Mai 2016       | 0:38:31                     | 73:12:00                    |
| Junho 2016     | 0:16:30                     | 40:18:56                    |
| Julho 2016     | Empresa encerra para férias | Empresa encerra para férias |
| Agosto 2016    | 0:22:52                     | 78:50:51                    |
| Setembro 2016  | 0:11:03                     | 18:37:54                    |
| Outubro 2016   | 0:15:53                     | 41:55:30                    |
| Novembro 2016  | 0:26:02                     | 74:30:02                    |
| Dezembro 2016  | 0:55:27                     | 60:33:10                    |
| Janeiro 2017   | 0:53:46                     | 52:12:04                    |
| Fevereiro 2017 | 1:00:35                     | 78:11:32                    |
| Março 2017     | 2:32:37                     | 30:38:08                    |
| Abril 2017     | 2:05:22                     | 54:45:36                    |
| Mai 2017       | 0:53:16                     | 34:35:20                    |
| Junho 2017     | 2:11:04                     | 47:20:33                    |
| Julho 2017     | 1:07:04                     | 55:25:39                    |
| Agosto 2017    | Empresa encerra para férias | Empresa encerra para férias |
| Setembro 2017  | 0:51:53                     | 83:41:19                    |
| Outubro 2017   | 1:50:43                     | 79:27:00                    |
| Novembro 2017  | 0:54:36                     | 115:17:17                   |
| Dezembro 2017  | 1:13:29                     | 26:21:10                    |
| Janeiro 2018   | 2:03:30                     | 282:04:39                   |
| Fevereiro 2018 | 1:11:02                     | 32:29:48                    |

## Apêndice B

### Análise de PESTAL

| Fatores      | Tendências do mercado  | Mudanças na estrutura da empresa  | Performance esperada   |
|--------------|--|---|------------------------|
| Tecnológicos | Aumento da capacidade computacional  | Investir em tecnologia de informação  | Aumentar a eficiência. |
|              | <i>Internet of things:</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>Equipamentos ligados à rede para recolha e tratamento de dados;</li> <li>Recursos Humanos ligados à rede através de dispositivos eletrónicos.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Investir na instrumentação dos equipamentos para monitorização.</li> <li>Procurar standardizar a instrumentação dos equipamentos.</li> <li>Investir na formação dos Recursos Humanos.</li> </ul> </li> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>Investir em tecnologias de informação.</li> <li>Investir na formação dos Recursos Humanos.</li> </ul> </li> </ol> | Aumentar a eficiência. |
|              | Aumento da automação: <ol style="list-style-type: none"> <li>Maior complexidade dos equipamentos;</li> <li>Maior complexidade de reparação.</li> </ol>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Investir na formação dos Recursos Humanos.</li> </ul>  | Aumentar a eficiência. |

|            |  |  |  |
|------------|--|--|--|
|            |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Procurar estandardizar as unidades constituintes dos equipamentos (exemplo: unidade hidráulica, unidade de comando).</li> </ul> |  |
|            | Aumento da competitividade (produzir o mais possível, ao menor custo associado). | Redução do <i>Lead time</i> :<br>⇨ Redução dos tempos não produtivos ( <i>setups</i> , <b>avarias</b> , entre outras paragens).  | Aumentar a eficiência.   |
|            | Aumento da personalização do produto   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Investir na modularidade dos equipamentos.</li> <li>Redução de <i>setups</i>.</li> </ul>  | Aumentar a eficiência.   |
| Ambientais | Alterações climáticas  | Implementar uma política de desenvolvimento sustentável (3.4.5)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da eficácia (respeito pelos requisitos do cliente e legais).</li> <li>Aumento da eficiência.</li> </ul> |
|            | Poluição   |  |  |
|            | Escassez dos recursos  |  |  |
| Legais     | Aumento das regulamentações para redução dos poluentes nas indústrias            | Implementar uma política de desenvolvimento sustentável (3.4.5)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da eficácia (respeito pelos requisitos do cliente e legais).</li> <li>Aumento da eficiência.</li> </ul> |
|            | Introdução de regulamentação para proteção de dados empresariais                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Investir nas tecnologias de informação.</li> <li>Investir na cibersegurança</li> </ul>  | Garantir a proteção do conhecimento empresarial.   |



## Apêndice C

### **Plano de manutenção preventiva implementado na OLI**

Este apêndice pretende apresentar o plano de manutenção preventiva (Figura C.1 e Figura C.2) atualmente implementado na empresa OLI – Sanitários, S.A. para a máquina de injeção MIP0091.


| OLI  manutenção preventiva de máquinas de injeção |   |   |        |     |     |       |
|--|---|---|--------|-----|-----|-------|
| MIP  |   |   | ROBOT  |     |     |       |
| técnico 1  |   |   | TERMOR |     |     |       |
| técnico 2  |   |   | data   |     |     |       |
| <b>Preparação</b>  |   |   |        |     |     |       |
| A  | Análise do histórico desde a última preventiva para identificação de avarias frequentes |   |        |     |     |       |
| B  | Delimitar a zona envolvente da máquina  |   |        |     |     |       |
| <b>Operações</b>   |   |   |        |     |     |       |
| #  | Descrição da operação   |   | OK     | NOK | N/A | Notas |
| 1  | Verificar paralelismo entre os pratos ( $\Delta$ máx 0,1mm)                             |   |        |     |     |       |
| 2  | Verificar estado de conservação das mangueiras óleo hidráulicas                         |   |        |     |     |       |
| 3  | Verificar estado de óleo hidráulico   |   |        |     |     |       |
| 4  | Limpeza geral da máquina  |   |        |     |     |       |
| 5  | Limpeza dos quadros elétricos   |   |        |     |     |       |
| 6  | Limpar, verificar e lubrificar guilamentos, rolamentos e superfícies de deslize         |   |        |     |     |       |
| 7  | Centramento do bico   |   |        |     |     |       |
| 8  | Limpeza, inspeção e reparação do sistema da fremonha                                    |   |        |     |     |       |
|  | 9.1   | Vedações  |        |     |     |       |
|  | 9.2   | Magnético   |        |     |     |       |
|  | 9.3   | Fugas   |        |     |     |       |
|  | 9.4   | Patilha   |        |     |     |       |
|  | 9.5   | Guilhotina e corteção                                       |        |     |     |       |
|  | 9.6   | Filtro  |        |     |     |       |
|  | 9.7   | Tubos de alimentação  |        |     |     |       |
| 10   | Verificar estado da caixa de controladores  |   |        |     |     |       |
|  | 10.1  | Relés estáticos   |        |     |     |       |
|  | 10.2  | Aperto de bornes  |        |     |     |       |
|  | 10.3  | Cabo e fichas   |        |     |     |       |
| 11   | Rectificação de rasgos e/ou furos dos pratos  |   |        |     |     |       |
| 12   | Testar vedação da válvula de injeção  |   |        |     |     |       |
| 13   | Testar sistema de lubrificação e verificar fugas  |   |        |     |     |       |
| 14   | Limpeza e/ou substituição de filtros  |   |        |     |     |       |
|  | 14.1  | Troca dos filtros de ar dos motores e dos quadros elétricos |        |     |     |       |
|  | 14.2  | Limpeza/Troca dos filtros de óleo                           |        |     |     |       |
| 15   | Verificar e corrigir guilamento e retenção das portas                                   |   |        |     |     |       |
| 16   | Montar e testar a máquina   |   |        |     |     |       |
| 17   | Calibração de pressões e temperaturas   |   |        |     |     |       |
| 18   | Limpeza final da máquina e zona envolvente  |   |        |     |     |       |
| 19   | Sistemas de segurança e emergência  |   |        |     |     |       |
|  | 19.1  | Banheiros de segurança                                      |        |     |     |       |
|  | 19.2  | Botoneira de emergência                                     |        |     |     |       |
|  | 19.3  | Borracha anti-esmagamento                                   |        |     |     |       |
|  | 19.4  | Fim de curso  |        |     |     |       |


Figura C.1 – Página 1 do Plano de manutenção atualmente implementado.

**Registo de medições**

**Características da Bula**

A-O

D-O



B-O

C-O

**Parâmetros de perfil**

A

C

B

D

---

**Temperaturas**

|        | antes [150°C] | depois [150°C] | antes [200°C] | depois [200°C] | antes [250°C] | depois [250°C] |
|--------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| zona 1 |               |                |               |                |               |                |
| zona 2 |               |                |               |                |               |                |
| zona 3 |               |                |               |                |               |                |
| zona 4 |               |                |               |                |               |                |
| zona 5 |               |                |               |                |               |                |
| bico   |               |                |               |                |               |                |

---

**Pressão Hidráulica - garras**

| 42 bar | antes | depois | 10 bar | antes | depois |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
|        |       |        |        |       |        |

---

**Pressão dos acumuladores**

| zona 1 | antes | depois | zona 2 | antes | depois |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
|        |       |        |        |       |        |
| zona 3 |       |        | zona 4 |       |        |
|        |       |        |        |       |        |
| zona 5 |       |        | zona 5 |       |        |
|        |       |        |        |       |        |

---

**Notas**

Figura C.2 – Página 2 do Plano de manutenção atualmente implementado.

## Apêndice D

### Plano de manutenção preventiva proposto pelo fabricante

Este apêndice pretende mostrar o plano de manutenção preventiva proposto pelo fabricante da máquina MIP0091 no manual técnico do equipamento. Este plano de manutenção (Tabela D.1) apresenta as tarefas a realizar, assim como a frequência a que as mesmas devem ser feitas.

Tabela D.1 – Plano de manutenção proposto no manual técnico da máquina MIP0091.

| Intervalo                   | Tarefa   | OK | NOK | N/A |
|-----------------------------|--|----|-----|-----|
| 8 em 8 horas                | Verificar dispositivos de segurança  |    |     |     |
|                             | Verificar nível de óleo hidráulico   |    |     |     |
|                             | Verificar nível de óleo lubrificante   |    |     |     |
|                             | Verificar termopares   |    |     |     |
| 40 em 40 horas              | Lubrificar pontos críticos   |    |     |     |
|                             | Verificar nível de óleo do redutor do fuso de plasticização                      |    |     |     |
|                             | Verificar a integridade dos canos da unidade hidráulica                          |    |     |     |
|                             | Verificar o aperto dos encaixes na unidade hidráulica                            |    |     |     |
| Após as primeiras 200 horas | Substituição do óleo de lubrificação da unidade redutora                         |    |     |     |
| 500 em 500 horas            | Limpar filtro de óleo hidráulico   |    |     |     |
|                             | Limpar filtro de ar do tanque de óleo hidráulico                                 |    |     |     |
|                             | Limpar e verificar os filtros de ventilação do quadro elétrico                   |    |     |     |
| 3000 em 3000 horas          | Lubrificar rolamentos dos motores elétricos, se disponível                       |    |     |     |
| 5000 em 5000 horas          | Verificar filtro de nitrogénio nos acumuladores, se disponível                   |    |     |     |
| todos os anos               | Substituição do óleo <u>sintético</u> de lubrificação na unidade redutora        |    |     |     |
| 8000 em 8000 horas          | Substituir lubrificante mineral, se o redutor for do modelo Knodler              |    |     |     |
| 10000 em 10000 horas        | Substituição do óleo hidráulico: limpar filtros internos e externos              |    |     |     |
|                             | Substituição do óleo de lubrificação do redutor                                  |    |     |     |
|                             | Limpeza permutador (descalcificação)   |    |     |     |
|                             | Limpeza do motor elétrico, bomba e/ou extrator                                   |    |     |     |
| 2 em 2 anos                 | Se o óleo na unidade redutora é <u>mineral</u> , substituir de dois em dois anos |    |     |     |

## Apêndice E

### Avárias da máquina MIP0091

Para perceber quais as avárias mais frequentes da máquina MIP0091, foi analisada a listagem de avárias, do *software* IFS, entre 23 de setembro de 2015 e 7 de maio de 2018, fornecida pela empresa. A listagem fornecida, para além de avárias, apresentava também paragens que não correspondem a avárias, sendo que essas foram identificadas e, posteriormente, retiradas da listagem, obtendo-se assim a lista de avárias presente na Tabela E.1.

Tabela E.1 – Listagem das avárias da máquina MIP0091 entre 23/07/2015 e 07/05/2018.

| Nº | Avaria  | Data de ocorrência | Detalhes de Reparação  |
|----|---|--------------------|--|
| 1  | Máquina não liga  | 16/11/2015         | Reparação da fonte de alimentação  |
| 2  | Alarme do filtro de partículas                                      | 17/02/2016         | Máquina com velocidade e pressão demasiado elevadas levaram a um aumento das impurezas no filtro |
| 3  | Falha no filtro de aspiração  | 15/07/2016         | Limpeza do filtro de aspiração   |
| 4  | Perda do sinal do radial 1 em automático                            | 30/08/2016         | Verificação do acumulador e aumento da pressão no radial 1                                       |
| 5  | Perda de pressão hidráulica   | 30/08/2016         |  |
| 6  | Perda de pressão nos radiais  | 30/09/2016         | Ajuste da pressão nos acumuladores e troca do pressostato  |
| 7  | Alarme do acumulador, a extração não recua                          | 31/08/2016         | Aumentar a pressão nos extratores  |
| 8  | Alarme do filtro de aspiração                                       | 31/08/2016         | Limpeza do filtro de aspiração   |
| 9  | Fuga de óleo  | 22/02/2017         | Reapertar sensor de filtro no tanque   |
| 10 | Carburador não aquece   | 18/03/2017         | Verificação do molde e substituição do fusível   |
| 11 | Fuga de óleo  | 02/03/2017         | Reparação da fuga de óleo  |
| 12 | Erro no filtro de aspiração   | 03/02/2017         |  |
| 13 | Erro filtro de aspiração e a bomba apaga se ocorrer algum movimento | 08/02/2017         | Afinação da pressão  |
| 14 | Alarme na Zona 3 da manta de aquecimento                            | 06/06/2017         | Colocação de uma nova resistência  |
| 15 | Alarme na Zona 1 do molde (molde não aquece)                        | 23/06/2017         | Reparação do circuito de aquecimento do molde  |

|    |                                       |            |   |
|----|---------------------------------------|------------|---|
| 16 | Fuga de água no termorregulador       | 01/09/2017 | Verificação do termorregulador  |
| 17 | Matacão                               | 20/09/2017 | Retirar matacão e colocação de uma nova mante de aquecimento                                    |
| 18 | Fuga de água                          | 04/10/2017 | Colocação de uma nova ligação de mangueira  |
| 19 | Não chega corrente elétrica à máquina | 05/02/2018 | Substituição da fonte de alimentação e reparação do circuito de refrigeração do quadro elétrico |

De seguida tentou-se dividir as várias avarias segundo a sua tipologia, isto é, por exemplo, aquelas avarias cuja causa está relacionada, com a pressão serão colocadas na categoria Pressão. O mesmo é feito para as restantes avarias, obtendo-se a Tabela E.2.

Tabela E.2 – Listagem de avarias segundo a sua causa.

| <b>Nº</b> | <b>Tipologia</b>        |
|-----------|-------------------------|
| 1         | Alimentação             |
| 2         | Pressão<br>Velocidade   |
| 3         | Filtro                  |
| 4         | Pressão                 |
| 5         | Pressão<br>Fuga de óleo |
| 6         | Pressão                 |
| 7         | Pressão                 |
| 8         | Filtro                  |
| 9         | Fuga de óleo            |
| 10        | Temperaturas            |
| 11        | Fuga de óleo            |
| 12        | Filtro                  |
| 13        | Pressão<br>Filtro       |
| 14        | Temperaturas            |
| 15        | Temperaturas            |
| 16        | Fuga de água            |
| 17        | Temperaturas            |
| 18        | Fuga de água            |
| 19        | Alimentação             |

## Apêndice F

### Diagrama de dependências funcionais

Na elaboração do diagrama de dependências funcionais, após se terem definidos todos os atributos necessários à base de dados, identificam-se as dependências funcionais entre os vários atributos. A dependência funcional entre atributos é representada por uma seta, cujo sentido indica que “existe apenas um e só um”.

Numa determinada máquina, para um determinado instante de tempo (atributos: IDmáquina e Tempo variáveis, respetivamente) são recolhidos os valores da temperatura em três locais e o valor da pressão no bico de injeção (atributos: Termopar1, Termopar2, Termopar3 e Injeção, respetivamente). Assim, pode dizer-se que, para uma determinada máquina, num determinado instante de tempo, existem apenas um e só um valor de temperatura para cada local e um e só um valor para a pressão no bico de injeção.

Do mesmo modo, para um determinado instante de tempo e para uma determinada máquina (atributos: IDmáquina e Tempo estado), é recolhido o valor do sinal digital que permite verificar se a máquina se encontra ou não em produção (atributo: Estado). Logo para uma determinada máquina, num determinado instante, existe apenas um e só um valor desse sinal.

Ocorrendo uma avaria numa determinada máquina, é posto em prática todo um processo para identificar a “Causa Raiz” da avaria e é realizada a sua reparação. Com o intuito de possuir um histórico de avarias, o utilizador que procede à reparação deve preencher um formulário onde descreve as avarias, a “Causa Raiz” das mesmas e o processo de reparação realizado. Para além disso, deve identificar qual a máquina onde ocorreu o problema, qual a data de início da reparação e qual a duração da mesma.

Sabe-se assim, que para uma ação de reparação de uma máquina (atributo: IDmáquina), feita por um determinado utilizador (atributo: *Username*), com uma determinada duração e iniciada a uma determinada data (atributos: Duração reparação e Início reparação, respetivamente), corresponde uma e apenas uma avaria, que possui uma e apenas uma “Causa Raiz” e onde é realizado um e só um processo de reparação (atributos: Avaria, Causa, Reparação, respetivamente).

Para evitar problemas desnecessários nos equipamentos, os colaboradores, no final de cada turno, devem proceder à manutenção autónoma da máquina na qual estão a trabalhar. Assim, de oito em oito horas, um operador preenche um *checklist* no qual verifica o estado dos dispositivos de segurança, os níveis dos óleos lubrificante e hidráulico e os valores das

temperaturas obtidos nos termopares. Desta forma, pode dizer-se que, para uma determinada máquina, para um determinado utilizador e para um determinado instante de tempo (atributos: IDmáquina, *Username* e Tempo autónoma, respetivamente), existe apenas um e só um registo sobre os dispositivos de segurança, um e só um registo sobre os níveis de óleo hidráulico e lubrificante e, um e um só registo sobre o estado dos termopares (atributos: Segurança, Hidráulico, Nível Hidráulico, Lubrificante, Nível Lubrificante e Termopares, respetivamente).

Quando se pretende criar um novo utilizador, os campos a preencher são o *username*, a *password* e o estatuto respetivos. O *username* é responsável por identificar os vários utilizadores da aplicação, o que significa que não existem dois utilizadores com o mesmo nome. A *password* é da escolha do utilizador, o que significa que diferentes utilizadores podem ter *passwords* iguais. O estatuto define o grau de acesso que o novo utilizador tem, isto é, dependendo do seu estatuto, o utilizador pode ou não pode aceder a certas opções na aplicação. Como tal, pode dizer-se que para um utilizador (atributo: *Username*), existe uma e apenas uma *password* e um e um só estatuto.

Cada máquina de injeção possui diferentes moldes, no entanto pode apenas utilizar um molde de cada vez. Assim sendo, pode dizer-se que, num determinado instante de tempo e para uma determinada máquina (atributos: Tempo molde e IDmáquina, respetivamente), existe apenas um e só um molde aplicado nessa máquina (atributo: IDmolde).

Por último, cada molde tem definidas condições normais de funcionamento, isto é, para um determinado molde as temperaturas em cada termopar têm valores fixos. Quer isto dizer que para um determinado molde (atributo: IDmolde), existe um e apenas um valor máximo para a temperatura do termopar1, um e apenas um valor mínimo para a temperatura do termopar 1, um e apenas um valor máximo para a temperatura do termopar2, um e apenas um valor mínimo para a temperatura do termopar2, um e apenas um valor máximo para a temperatura do termopar3 e, um e apenas um valor mínimo da temperatura do termopar3 (atributos: Temp Termopar1 Max, Temp Termopar1 Min, Temp Termopar2 Max, Temp Termopar2 Min, Temp Termopar3 Max, Temp Termopar3 Min). Com esta análise, estão determinadas as dependências funcionais entre os vários atributos da Figura 4.17, sendo proposto na Figura F.1 o diagrama de dependências funcionais da relação universal para este trabalho.



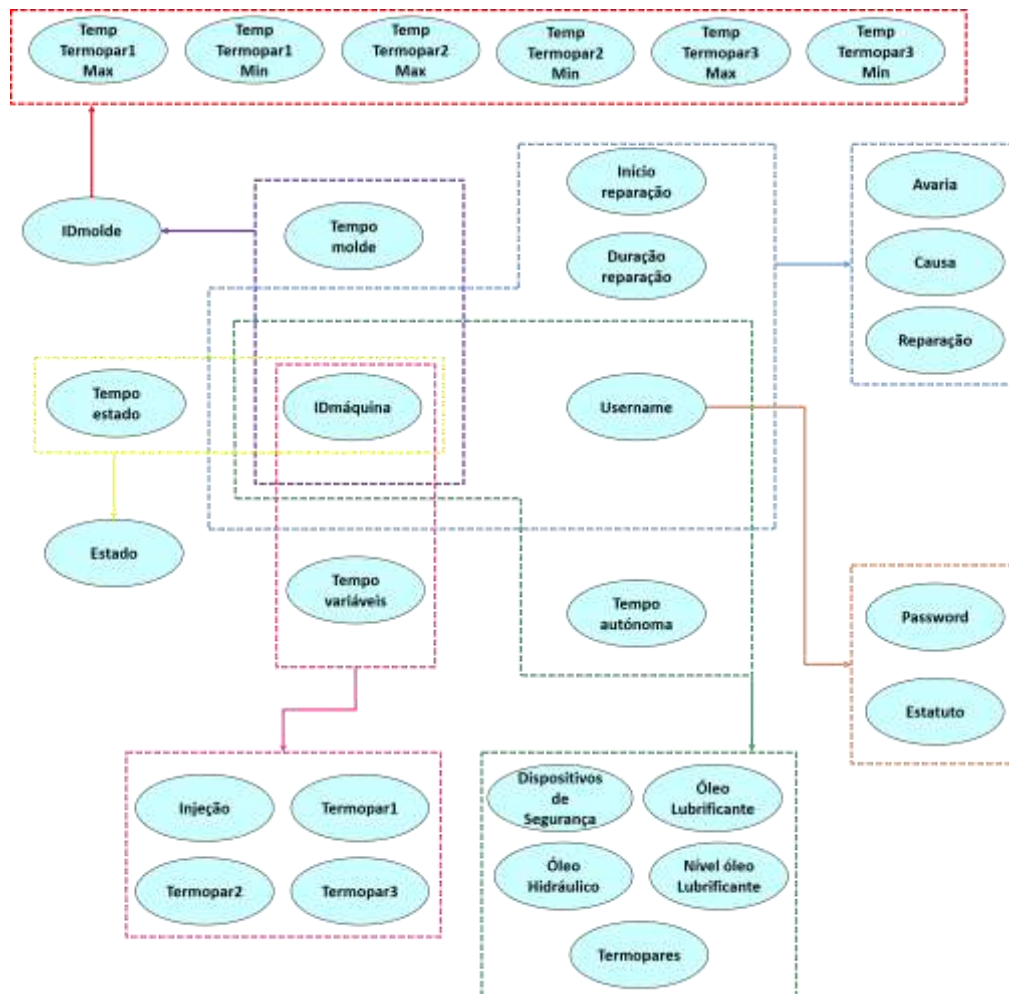


Figura F.1 – Diagrama de dependências funcionais da relação universal.

Da análise da figura anterior, conclui-se que a relação universal é constituída por todos os atributos apresentados e que os determinantes obtidos não estão simplificados o suficiente para poderem ser considerados como chaves candidatas. Assim sendo, é necessário subdividir a relação em relações com menor grau e cardinalidade, até que a relação universal esteja na Forma de Boyce Codd, isto é, até que os determinantes da relação sejam chaves candidatas da mesma. Assim, divide-se a relação universal R, nas relações R1 (Figura F.2), R2 (Figura F.3), R3 (Figura F.4), R4 (Figura F.5), R5 (Figura F.6), R6 (Figura F.7) e R7 (Figura F.8).

**R (IDmáquina, Username, Tempo Autónoma, Tempo Variáveis, Tempo estado, Estado, Password, Estatuto, Termopar1, Termopar2, Termopar3, Injeção, Início Reparação, Duração Reparação, Avaria, Causa, Reparação, Dispositivos de Segurança, Óleo Hidráulico, Óleo Lubrificante, Nível do Óleo Lubrificante, Termopares, IDmolde, Tempo molde, Temp Termopar1 Max, Temp Termopar1 Min, Temp Termopar2 Max, Temp Termopar2 Min, Temp Termopar3 Max, Temp Termopar3 Min)**

**Determinantes:**

1. <IDmáquina, Tempo variáveis>
2. <IDmáquina, Username, Início Reparação, Duração Reparação>

3. <IDmáquina, Username, Tempo Autónoma>
4. <Username>
5. <IDmáquina, Tempo estado >
6. <IDmáquina, Tempo molde>
7. <IDmolde>

**Chaves Candidatas:** Não existem chaves candidatas.

### Relação R1

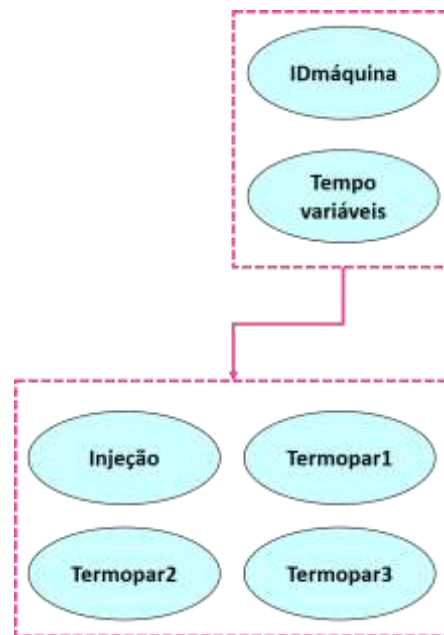


Figura F.2 – Diagrama de dependências funcionais da relação R1.

**R1 (IDmáquina, Tempo Variáveis, Termopar1, Termopar2, Termopar3, Injeção)**

**Determinantes:**

1. <IDmáquina, Tempo variáveis>

**Chaves Candidatas:**

1. <IDmáquina, Tempo variáveis>

Do diagrama de dependências funcionais da relação R1, constata-se que o determinante e a chave candidata são iguais, o que indica que a relação R1 já se encontra normalizada. A relação R1 origina uma tabela na base de dados, cujo nome é Variáveis. Esta tabela armazena os dados recolhidos dos sensores instalados na máquina, possuindo para tal seis colunas, uma para cada atributo. Como chaves primárias da tabela, foi escolhido o atributo **Tempo variáveis** e o atributo **IDmáquina**.

### Relação R2

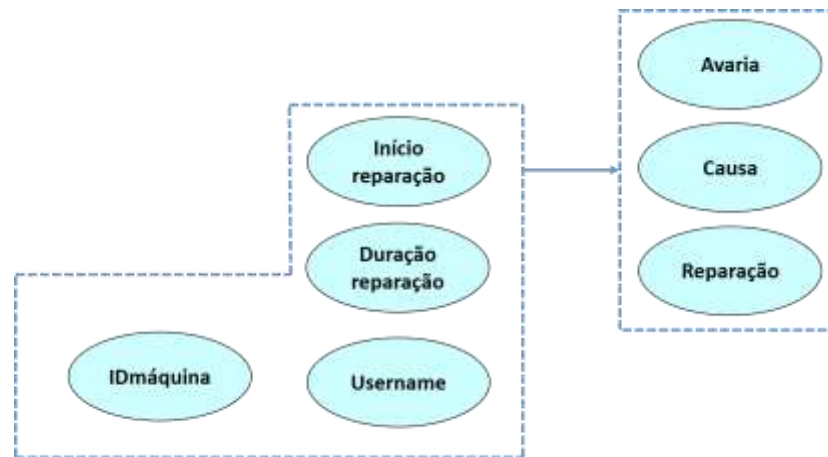


Figura F.3 – Diagrama de dependências funcionais da relação R2.

**R2 (IDmáquina, Username, Início reparação, Duração reparação, Avaria, Causa, Reparação)**

**Determinantes:**

1. < IDmáquina, Username, Início reparação, Duração reparação >

**Chaves Candidatas:**

1. < IDmáquina, Username, Início reparação, Duração reparação >

Da mesma forma que na relação anterior, os determinantes da relação R2 são iguais às chaves candidatas da mesma, por isso, a relação R2 encontra-se normalizada. Esta relação dá origem à tabela Registo na base de dados, pois o seu intuito é armazenar informação ligada às avarias. A tabela Registo possui sete colunas e tem como chaves primárias IDmáquina, Username, Início reparação e Duração reparação.

**Relação R3**

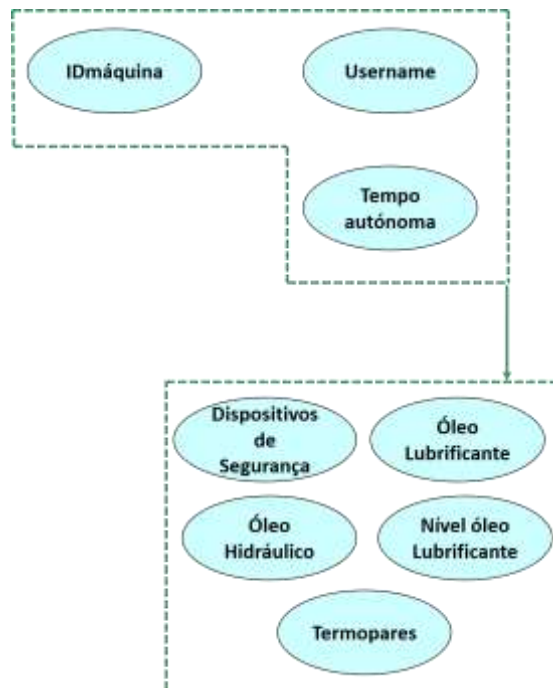


Figura F.4 – Diagrama de dependências funcionais da relação R3.

**R3 (IDmáquina, Username, Tempo autónoma, Dispositivos de segurança, Óleo Hidráulico, Óleo Lubrificante, Nível Lubrificante, Termopares)**

**Determinantes:**

1. < IDmáquina, Username, Tempo autónoma >

**Chaves Candidatas:**

1. < IDmáquina, Username, Tempo autónoma >

Como pode ser visualizado acima, os determinantes da relação R3 são iguais às suas chaves candidatas, o que significa que a relação está normalizada, dando assim origem à tabela Autónoma, na base de dados. A função desta tabela é armazenar os resultados da manutenção autónoma, realizada pelos colaboradores a cada oito horas, possuindo, para esse fim, oito colunas. As chaves primárias desta tabela são o **IDmáquina**, o **Username** e o **Tempo autónoma**.

**Relação R4**

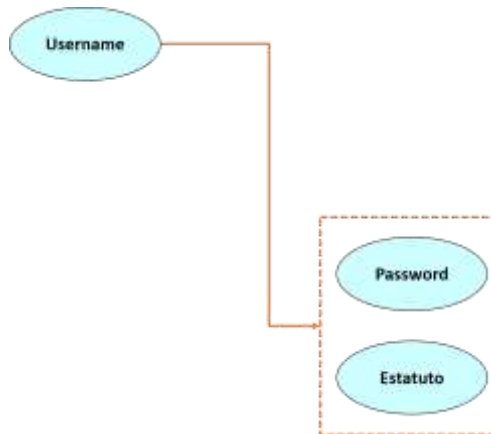


Figura F.5 – Diagrama de dependências funcionais da relação R4.

**R4 (Username, Password, Estatuto)****Determinantes:**

1. < Username >

**Chaves Candidatas:**

1. < Username >

Do diagrama de dependências funcionais da relação R4, constata-se que os determinantes da relação são iguais às chaves candidatas das mesmas, o que permite concluir que a relação R4 se encontra normalizada. Esta relação dá origem à tabela *Login* da base de dados, cujo objetivo é armazenar os *usernames*, as *passwords* e os estatutos de cada utilizador, possuindo para tal três colunas distintas. Como chave primária desta tabela foi escolhido o atributo *Username*.

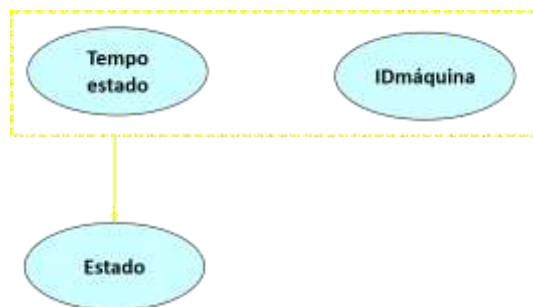
**Relação R5**

Figura F.6 – Diagrama de dependências funcionais da relação R5.

**R5 (IDmáquina, Tempo estado, Estado)****Determinantes:**

1. < IDmáquina, Tempo estado >

**Chaves Candidatas:**

1. < IDmáquina, Tempo estado >

Como é possível verifica, o determinante da relação R5 é igual à chave candidata da mesma, o que permite concluir que a relação R5 se encontra normalizada. Desta relação, obtém-se a tabela “Estado” da base de dados, que armazena o valor do sinal digital, que ao variar entre “0” e “1”, indica que a máquina se encontra em produção. Caso o valor medido se mantenha igual “0”, a máquina não se encontra a produzir. Desta forma, a tabela referida possui três colunas distintas, uma para identificar a máquina, outra para indicar qual o instante de tempo em que foi recolhido o valor do sinal e uma terceira coluna para indicar o valor do sinal correspondente ao instante de tempo anterior. Como chaves primárias desta tabela foram escolhidos os atributos IDmáquina e Tempo estado.

### Relação R6

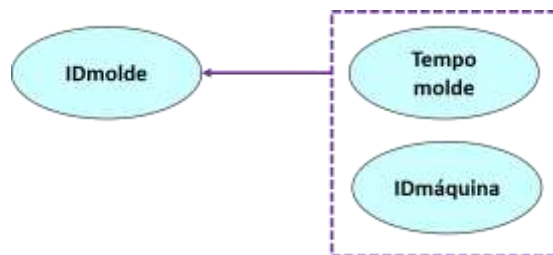


Figura F.7 – Diagrama de dependências funcionais da relação R6.

#### R6 (IDmáquina, Tempo molde, IDmolde)

##### Determinantes:

1. < IDmáquina, Tempo molde >

##### Chaves Candidatas:

1. < IDmáquina, Tempo molde >

A partir do diagrama de dependências funcionais da relação R6, verifica-se que o determinante e a chave candidata são iguais, o que significa que a relação R6 se encontra normalizada. Esta relação dá origem à tabela “Molde” da base de dados, que guarda a identificação do molde que está numa determinada máquina, num determinado instante de tempo. Esta tabela possui três colunas distintas, uma que indica qual a máquina, outra que indica o molde que se encontra nessa mesma máquina e a última indica a data em que foi colocado o molde referido. Como chaves primárias desta tabela foram escolhidos os atributos IDmáquina e Tempo molde.

### Relação R7

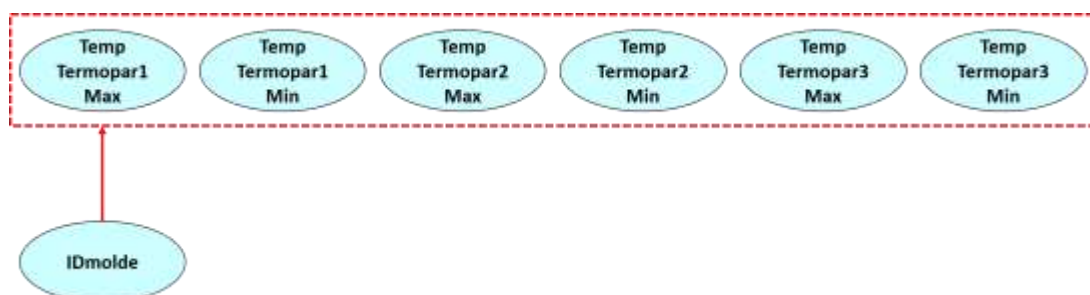


Figura F.8 – Diagrama de dependências funcionais da relação R7.

**R7 (IDmolde, Temp Termopar1 Max, Temp Termopar1 Min, Temp Termopar2 Max, Temp Termopar2 Min, Temp Termopar3 Max, Temp Termopar3 Min)**

**Determinantes:**

1. < IDmolde >

**Chaves Candidatas:**

1. < IDmolde >

Analisando o diagrama de dependências funcionais determina-se que o determinante e a chave candidata são iguais, o que indica que a relação R7 se encontra normalizada. Esta relação dá origem à tabela “Parâmetros” da base de dados, cuja função é armazenar os parâmetros normais de funcionamento de cada molde. Esta tabela possui sete colunas e tem como chave primária o atributo IDmolde.

As tabelas obtidas através deste modelo são iguais às obtidas pelo diagrama de classes apresentado no capítulo 4.4.1.1 não havendo, por isso, necessidade de as apresentar de novo.

## Apêndice G

### Paragens da máquina MIP0091

Para determinar o molde para o qual seriam calculados os limites da temperatura recorre-se ao registo de paragens da máquina em estudo, segundo o *software* STAIN, entre 21 de junho de 2018 e 23 de julho de 2018. Na Tabela G.1 é apresentado um excerto do referido registo de paragens.

Tabela G.1 – Excerto do registo das paragens da máquina MIP0091 entre 21 de junho de 2018 e 23 de julho de 2018.

| Causa paragem  | Data/hora           | Duração  | Molde  |
|----------------|---------------------|----------|--------|
| Por declarar   | 21-06-2018 09:17:53 | 00:01:03 | ML0697 |
| Por declarar   | 21-06-2018 09:19:02 | 02:00:47 | ML0697 |
| Por declarar   | 21-06-2018 11:20:05 | 00:33:52 | ML0697 |
| Avaria máquina | 22-06-2018 10:59:43 | 00:13:55 | ML0697 |
| Por declarar   | 23-06-2018 07:42:32 | 00:00:25 | ML0697 |
| Avaria Molde   | 25-06-2018 05:11:24 | 02:42:30 | ML0697 |
| Por declarar   | 25-06-2018 16:38:10 | 00:05:10 | ML1054 |
| Por declarar   | 25-06-2018 17:10:34 | 00:00:04 | ML1054 |
| Troca de molde | 27-06-2018 01:00:05 | 00:01:18 | ML1054 |
| Por declarar   | 27-06-2018 01:38:13 | 00:00:24 | ML1055 |
| Por declarar   | 27-06-2018 23:33:05 | 00:03:04 | ML1055 |
| Por declarar   | 27-06-2018 23:36:09 | 00:11:10 | ML1055 |
| Por declarar   | 27-06-2018 23:58:39 | 00:00:24 | ML1055 |
| Por declarar   | 28-06-2018 00:31:48 | 00:02:18 | ML1055 |
| Por declarar   | 28-06-2018 00:44:58 | 00:01:34 | ML1055 |
| Troca de molde | 28-06-2018 17:39:30 | 00:02:50 | ML1055 |
| Por declarar   | 28-06-2018 18:15:50 | 00:00:16 | ML1059 |
| Por declarar   | 28-06-2018 18:18:20 | 00:00:05 | ML1059 |
| Por declarar   | 28-06-2018 18:25:06 | 00:03:34 | ML1059 |
| Avaria Molde   | 28-06-2018 18:29:38 | 00:13:47 | ML1059 |



Da tabela anterior determinam-se os moldes mais utilizados entre as respetivas datas e calculam-se o número de paragens associados a cada um. Na Tabela G.2 são apresentados os moldes do mais frequente ao menos frequente, sendo também apresentado o número total de paragens associadas a cada molde.

Tabela G.2 – Determinação do molde para análise.

| <b>Molde (do mais frequente ao menos frequente)</b> | <b>Nº de utilizações</b> | <b>Nº de paragens</b> |
|---|--------------------------|-----------------------|
| 1. ML0697   | 3                        | 27                    |
| 2. ML1051   | 2                        | 34                    |
| 2. ML1055   | 2                        | 26                    |
| 2. ML1059   | 2                        | 6                     |
| 2. ML0701   | 2                        | 23                    |
| 3. ML1054   | 1                        | 3                     |
| 2. ML0702   | 1                        | 22                    |

Ao analisar a tabela anterior verificou-se que o molde 1059 seria o mais indicado de acordo com o critério apresentado, uma vez que, para além de ser dos mais utilizados possui um número muito reduzido de paragens em comparação com os restantes.

## Apêndice H

### Software Minitab

Para o elaborar as cartas de controlo da temperatura do molde ML1059 foi utilizado o *software* Minitab.

Os dados utilizados para o cálculo dos limites são recolhidos de forma contínua e apresentam diferentes valores, nessa conformidade diz-se que estes são dados do tipo “variável”. O facto de termos duas amostras, uma retirada da primeira utilização do molde e outra retirada da segunda, define a existência de dois subgrupos de dados. Com estes requisitos para elaborar uma carta de controlo, o *software* Minitab apresenta várias opções. Dessas opções escolheu-se a mais simples, que consiste no cálculo dos limites, através de cartas de controlo, e utilizando o gráfico da média da amostra (XChart), cuja explicação se encontra na Figura H.1.

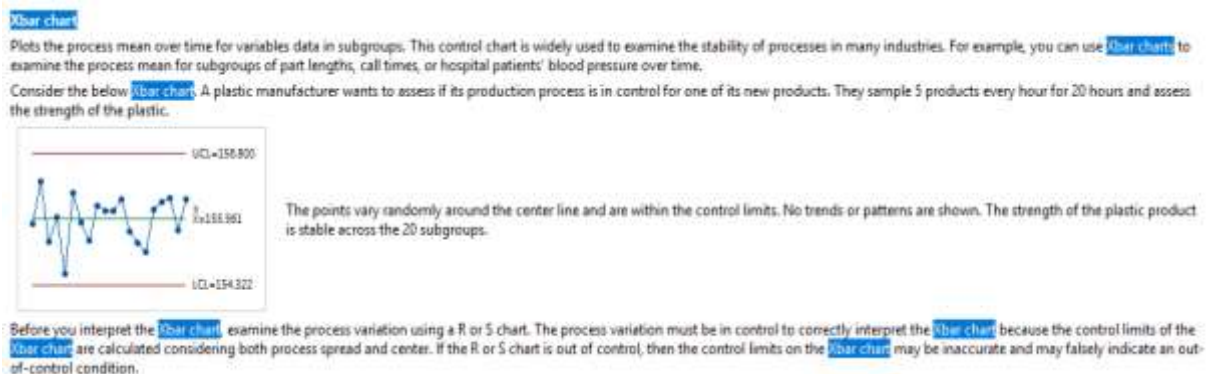


Figura H.1 – Informação adicional sobre o gráfico da média utilizado para os cálculos dos limites da temperatura.

Contudo, ao examinar a informação da figura detetou-se que para verificar a validade dos limites obtidos pelo gráfico da média, era necessário realizar e verificar o gráfico da amplitude (RChart), cuja explicação se encontra na Figura H.2.

**R chart**

Plots the process range over time for variables data in subgroups. This control chart is widely used to examine the stability of processes in many industries. For example, you can use R charts to examine process variation for subgroups of part lengths, call times, or hospital patients' blood pressure over time.

Consider the R chart below. A plastic manufacturer wants to assess if its production process is in control for one of its new products. They sample 5 products every hour for 20 hours and assess the strength of the plastic.



The points vary randomly around the center line and are within the control limits. No trends or patterns are shown. The variability in the strength of the plastic product is stable across the 20 subgroups.

The center line is the average range of all subgroups ( $\bar{R}$ ).

Examine the process variation using a R chart before interpreting the process average with an **X-bar chart**. The process variation must be in control to correctly interpret the **X-bar chart** because the control limits of the **X-bar chart** are calculated considering both process spread and center. If the R chart is out of control, then the control limits on the **X-bar chart** may be inaccurate and may falsely indicate an out-of-control condition.

Use the R chart when your subgroup size is eight or less. Use the S chart when your subgroup size is nine or more.

Figura H.2 – Informação adicional sobre o gráfico da amplitude utilizado para os cálculos dos limites da temperatura.

Assim sendo, para cada sensor será obtido em primeiro lugar o gráfico da amplitude se, neste gráfico os valores calculados se encontrarem dentro dos limites definidos pelo programa e em torno do valor médio da amplitude, conclui-se que a variabilidade da temperatura é estável nos dois subgrupos, podendo realizar-se o gráfico da média. Ao adquirir o gráfico da média é necessário confirmar se os valores obtidos estão dentro dos limites e em torno da média. Se sim, então os valores limites obtidos no gráfico, representam o valor máximo e o valor mínimo permitidos para a temperatura em condições normais de funcionamento.

# Apêndice I

## Amostra recolhida para o cálculo dos limites de temperatura do molde ML1059

Os dados utilizados para o cálculo dos limites de temperatura para o molde ML1059, são apresentados na Figura I.1.

|    | C1     | C2     | C3     | C4     | C5     | C6     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    | T1_G1  | T2_G1  | T3_G1  | T1_G2  | T2_G2  | T3_G2  |
| 1  | 200,00 | 200,00 | 190,50 | 207,00 | 198,50 | 186,00 |
| 2  | 200,00 | 200,00 | 190,50 | 206,75 | 199,75 | 186,75 |
| 3  | 200,00 | 199,50 | 190,75 | 206,25 | 199,00 | 187,00 |
| 4  | 198,50 | 199,00 | 190,25 | 206,50 | 198,00 | 186,75 |
| 5  | 199,25 | 200,00 | 190,50 | 206,00 | 198,00 | 186,50 |
| 6  | 200,00 | 200,00 | 190,50 | 206,50 | 198,25 | 186,75 |
| 7  | 199,75 | 200,25 | 190,50 | 206,25 | 198,75 | 186,50 |
| 8  | 200,50 | 200,00 | 191,00 | 205,25 | 198,50 | 187,00 |
| 9  | 200,00 | 200,25 | 190,50 | 206,50 | 198,50 | 186,75 |
| 10 | 199,75 | 200,00 | 190,25 | 207,00 | 198,25 | 186,75 |
| 11 | 200,00 | 200,50 | 191,00 | 206,50 | 198,00 | 186,25 |
| 12 | 200,00 | 199,75 | 190,50 | 206,00 | 198,50 | 187,00 |
| 13 | 200,75 | 199,75 | 190,50 | 207,50 | 198,50 | 186,75 |
| 14 | 200,75 | 199,50 | 189,75 | 206,75 | 198,50 | 187,00 |
| 15 | 200,00 | 199,75 | 190,50 | 206,25 | 198,50 | 187,00 |
| 16 | 199,25 | 199,00 | 190,00 | 207,50 | 199,00 | 186,75 |
| 17 | 199,75 | 200,00 | 190,00 | 206,75 | 198,25 | 186,50 |
| 18 | 200,00 | 199,50 | 190,50 | 207,00 | 198,75 | 186,00 |
| 19 | 200,00 | 199,00 | 190,25 | 206,75 | 198,50 | 186,50 |
| 20 | 199,75 | 199,75 | 190,00 | 207,50 | 198,75 | 186,25 |
| 21 | 199,25 | 200,00 | 190,00 | 206,25 | 198,50 | 186,75 |
| 22 | 200,25 | 199,40 | 191,00 | 207,00 | 198,50 | 186,75 |
| 23 | 199,75 | 199,25 | 190,00 | 206,00 | 198,50 | 186,50 |
| 24 | 199,75 | 199,50 | 190,00 | 206,00 | 198,50 | 186,50 |
| 25 | 200,25 | 199,25 | 189,75 | 206,00 | 198,00 | 186,50 |
| 26 | 200,25 | 199,75 | 189,75 | 207,00 | 198,50 | 186,50 |
| 27 | 199,25 | 199,25 | 189,75 | 206,75 | 199,00 | 187,00 |
| 28 | 199,25 | 199,00 | 190,00 | 206,75 | 198,25 | 186,50 |
| 29 | 200,00 | 199,25 | 189,50 | 207,00 | 198,75 | 187,25 |
| 30 | 199,50 | 199,75 | 190,00 | 207,50 | 199,00 | 187,25 |
| 31 | 200,00 | 198,25 | 189,25 | 206,25 | 198,25 | 186,25 |
| 32 | 200,25 | 199,75 | 189,50 | 207,25 | 198,50 | 186,50 |
| 33 | 200,25 | 199,75 | 190,00 | 207,25 | 198,50 | 186,75 |
| 34 | 200,00 | 199,75 | 190,25 | 206,00 | 198,00 | 186,25 |
| 35 | 200,50 | 199,25 | 190,00 | 206,50 | 198,00 | 186,50 |
| 36 | 200,00 | 200,00 | 190,50 | 206,75 | 198,50 | 186,50 |
| 37 | 199,75 | 199,75 | 190,25 | 205,50 | 198,00 | 186,50 |
| 38 | 200,75 | 199,75 | 190,50 | 206,25 | 198,75 | 187,25 |
| 39 | 200,25 | 200,00 | 190,25 | 206,25 | 198,00 | 186,25 |
| 40 | 200,75 | 200,00 | 190,25 | 206,50 | 198,25 | 186,50 |
| 41 | 200,25 | 200,25 | 190,75 | 207,00 | 198,75 | 187,50 |
| 42 | 200,50 | 200,00 | 190,75 | 206,75 | 198,25 | 187,00 |
| 43 | 200,00 | 199,75 | 190,00 | 206,50 | 198,50 | 187,00 |
| 44 | 199,50 | 199,50 | 189,75 | 206,75 | 198,75 | 187,25 |

[...]

|     | C1     | C2     | C3     | C4     | C5     | C6     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | T1_G1  | T2_G1  | T3_G1  | T1_G2  | T2_G2  | T3_G2  |
| 177 | 200,00 | 199,50 | 190,25 | 207,00 | 198,50 | 186,50 |
| 178 | 200,25 | 200,00 | 190,00 | 207,00 | 198,50 | 186,75 |
| 179 | 200,75 | 199,75 | 190,25 | 207,25 | 198,50 | 186,00 |
| 180 | 201,50 | 200,25 | 190,25 | 206,75 | 198,25 | 186,25 |
| 181 | 200,00 | 200,50 | 190,50 | 207,00 | 198,75 | 186,50 |
| 182 | 199,50 | 200,00 | 189,75 | 207,25 | 198,75 | 187,00 |
| 183 | 200,25 | 200,25 | 189,50 | 207,25 | 198,50 | 186,75 |
| 184 | 200,00 | 200,00 | 190,25 | 206,50 | 198,75 | 186,50 |
| 185 | 200,25 | 199,75 | 190,00 | 206,75 | 198,75 | 186,25 |
| 186 | 199,75 | 199,75 | 189,75 | 205,75 | 198,25 | 186,25 |
| 187 | 200,25 | 200,00 | 189,50 | 205,50 | 198,25 | 186,25 |
| 188 | 201,00 | 199,75 | 189,25 | 205,25 | 198,50 | 186,25 |
| 189 | 201,25 | 199,00 | 189,50 | 206,25 | 198,00 | 186,25 |
| 190 | 201,25 | 199,50 | 189,00 | 206,00 | 198,50 | 185,75 |
| 191 | 201,50 | 200,00 | 188,75 | 206,00 | 198,50 | 186,00 |
| 192 | 200,50 | 199,75 | 189,00 | 206,75 | 198,75 | 185,75 |
| 193 | 201,00 | 200,50 | 188,50 | 206,00 | 198,25 | 186,50 |
| 194 | 201,25 | 199,00 | 188,25 | 206,25 | 198,50 | 186,25 |
| 195 | 201,00 | 200,00 | 188,75 | 206,50 | 198,00 | 186,50 |
| 196 | 200,75 | 199,25 | 188,75 | 207,00 | 197,75 | 186,50 |
| 197 | 200,75 | 199,75 | 188,50 | 206,00 | 198,25 | 186,25 |
| 198 | 201,00 | 199,75 | 189,25 | 206,50 | 198,00 | 186,50 |
| 199 | 200,50 | 199,75 | 189,25 | 206,25 | 197,75 | 186,50 |
| 200 | 200,25 | 199,00 | 188,50 | 206,25 | 198,50 | 186,00 |

Figura I.1 – Dados da amostragem utilizada para o molde ML1059.

# Apêndice J

## Questionário - Estatuto 3

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ • Idade: \_\_\_\_ Sexo: F\_\_ M\_\_

O presente questionário pretende aferir a viabilidade da utilização de uma plataforma *web* para auxiliar a manutenção na monitorização e controlo de parâmetros e componentes críticos dos equipamentos.

O questionário dura 5 minutos, e todas as respostas serão tratadas de forma anónima.

Deve ler as questões atentamente e colocar um (X) na opção que considere mais correta.

### Legenda

- NR: prefiro Não Responder • (1) Discordo completamente • (2) Discordo
- (3) Concordo • (4) Concordo completamente

### Parte I – Contacto com a Internet e plataformas *web* (*websites*)

| Afirmações  | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----|---|---|---|---|
| 1. Já tive contacto com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |
| 2. Sinto-me à vontade a usar um dispositivo eletrónico (computador, <i>tablet</i> , entre outros) para aceder a <i>websites</i> . |    |   |   |   |   |
| 3. Acedo diariamente a <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 4. Aprendo, autonomamente, a lidar com <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 5. Necessito de formação para lidar com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |

### Parte II – Utilização do *website*

| Afirmações   | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----|---|---|---|---|
| 6. Não entendi o objetivo de usar o <i>website</i> apresentado.  |    |   |   |   |   |
| 7. Senti dificuldades no preenchimento da página de <i>login</i> .   |    |   |   |   |   |
| 8. Caso tenha de preencher o formulário no final de cada turno, prefiro fazê-lo através do <i>website</i> apresentado. |    |   |   |   |   |
| 9. Aprendi rapidamente a utilizar o <i>website</i> apresentado.  |    |   |   |   |   |
| 10. Sou capaz de usar sozinho o <i>website</i> apresentado.  |    |   |   |   |   |
| 11. Achei o funcionamento do <i>website</i> confuso.   |    |   |   |   |   |
| 12. Percebi o interesse na utilização do <i>website</i> apresentado.   |    |   |   |   |   |
| 13. É mais fácil preencher o formulário usando o <i>website</i> do que usando papel.                                   |    |   |   |   |   |

Observações/Sugestões:

---



---

Obrigada ☺

## Questionário - Estatuto 2

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ • Idade: \_\_\_\_ Sexo: F\_\_ M\_\_

O presente questionário pretende aferir a viabilidade da utilização de uma plataforma *web* para auxiliar a manutenção na monitorização e controlo de parâmetros e componentes críticos dos equipamentos.

O questionário dura 5 minutos, e todas as respostas serão tratadas de forma anónima.

Deve ler as questões atentamente e colocar um (X) na opção que considere mais correta.

### Legenda

- NR: prefiro Não Responder • (1) Discordo completamente • (2) Discordo
- (3) Concordo • (4) Concordo completamente

### Parte I – Contacto com a Internet e plataformas *web* (*websites*)

| Afirmações  | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----|---|---|---|---|
| 1. Já tive contacto com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |
| 2. Sinto-me à vontade a usar um dispositivo eletrónico (computador, <i>tablet</i> , entre outros) para aceder a <i>websites</i> . |    |   |   |   |   |
| 3. Acedo diariamente a <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 4. Aprendo, autonomamente, a lidar com <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 5. Necessito de formação para lidar com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |

### Parte II – Utilização do *website*

| Afirmações   | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----|---|---|---|---|
| 6. Não entendi o objetivo de usar o <i>website</i> apresentado.  |    |   |   |   |   |
| 7. Senti dificuldades no preenchimento da página de <i>login</i> .   |    |   |   |   |   |
| 8. Achei mais fácil registar uma avaria nesta <i>website</i> do que no IFS.  |    |   |   |   |   |
| 9. Aprendi rapidamente a utilizar o <i>website</i> apresentado.  |    |   |   |   |   |
| 10. Vejo interesse em poder visualizar os valores das temperaturas e pressões da máquina em tempo real e em qualquer lugar na empresa. |    |   |   |   |   |
| 11. Vejo interesse em saber, em tempo real e a partir de qualquer lugar na empresa, se a máquina se encontra em produção.              |    |   |   |   |   |
| 12. Percebi qual a finalidade de proceder ao preenchimento do formulário de troca de molde.  |    |   |   |   |   |
| 13. Considero importante ser avisado por <i>email</i> quando as temperaturas medidas apresentam valores anormais.                      |    |   |   |   |   |
| 14. Considero importante ser avisado quando o gasto de óleo lubrificante da máquina é superior ao esperado.                            |    |   |   |   |   |
| 15. Consegui alterar os limites da temperatura para um determinado molde a partir do <i>website</i> .                                  |    |   |   |   |   |
| 16. Prefiro utilizar o <i>website</i> apresentado para registar avarias.   |    |   |   |   |   |
| 17. Prefiro continuar a utilizar o IFS para registar avarias.  |    |   |   |   |   |
| 18. Achei o funcionamento do <i>website</i> confuso.   |    |   |   |   |   |

Observações/Sugestões:

---



---



---

Obrigada ☺

## Questionário - Estatuto 1

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ • Idade: \_\_\_\_ Sexo: F\_\_ M\_\_

O presente questionário pretende aferir a viabilidade da utilização de uma plataforma *web* para auxiliar a manutenção na monitorização e controlo de parâmetros e componentes críticos dos equipamentos.

O questionário dura 5 minutos, e todas as respostas serão tratadas de forma anónima.

Deve ler as questões atentamente e colocar um (X) na opção que considere mais correta.

### Legenda

- NR: prefiro Não Responder • (1) Discordo completamente • (2) Discordo
- (3) Concordo • (4) Concordo completamente

### Parte I – Contacto com a Internet e plataformas *web* (*websites*)

| Afirmações  | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----|---|---|---|---|
| 1. Já tive contacto com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |
| 2. Sinto-me à vontade a usar um dispositivo eletrónico (computador, <i>tablet</i> , entre outros) para aceder a <i>websites</i> . |    |   |   |   |   |
| 3. Acedo diariamente a <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 4. Aprendo, autonomamente, a lidar com <i>websites</i> .  |    |   |   |   |   |
| 5. Necessito de formação para lidar com <i>websites</i> .   |    |   |   |   |   |

### Parte II – Utilização do *website*

| Afirmações  | NR | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----|---|---|---|---|
| 6. Não entendi o objetivo de usar o <i>website</i> apresentado.   |    |   |   |   |   |
| 7. Senti dificuldades no preenchimento da página de <i>login</i> .  |    |   |   |   |   |
| 8. Concordo que todas as informações necessárias para a aplicação futura de um plano de manutenção preditiva se encontram abrangidas pelo <i>website</i> criado.      |    |   |   |   |   |
| 9. Aprendi rapidamente a utilizar o <i>website</i> apresentado.   |    |   |   |   |   |
| 10. Considero útil possuir o histórico das várias ações de manutenção autónoma.   |    |   |   |   |   |
| 11. Vejo interesse em receber via <i>email</i> e de forma automática os relatórios de manutenção autónoma.  |    |   |   |   |   |
| 12. Considero que, receber os relatórios de manutenção autónoma por <i>email</i> me permite controlar eficazmente que as ações de manutenção autónoma são realizadas. |    |   |   |   |   |
| 13. O facto de ser informado imediatamente dos resultados da manutenção autónoma permite-me agir rapidamente caso se verifique algum problema.                        |    |   |   |   |   |
| 14. Vejo interesse em poder visualizar os valores das temperaturas e pressões da máquina em tempo real e em qualquer lugar na empresa.                                |    |   |   |   |   |
| 15. Vejo interesse em saber, em tempo real e a partir de qualquer lugar na empresa, se a máquina se encontra em produção.   |    |   |   |   |   |
| 16. Não considero útil monitorizar parâmetros da máquina  |    |   |   |   |   |
| 17. Considero útil receber um alerta via <i>email</i> quando as temperaturas medidas pelos sensores são superiores aos valores normais de funcionamento.              |    |   |   |   |   |
| 18. Considero que ao ser alertado atempadamente de valores anormais de temperatura posso evitar paragens não programadas e futuras avarias.                           |    |   |   |   |   |
| 19. Consegui criar e eliminar utilizadores do <i>website</i> de forma rápida e fácil.   |    |   |   |   |   |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
| 20. Considero uma mais valia o cálculo automático dos valores dos indicadores MTTR e MTBF. |  |  |  |  |  |
| 21. Achei o funcionamento do <i>website</i> confuso.                                       |  |  |  |  |  |
| 22. Considero-me satisfeito com a apresentação do <i>website</i> desenvolvido.             |  |  |  |  |  |
| 23. Considero uma mais valia para a manutenção a utilização deste <i>website</i> .         |  |  |  |  |  |
| 24. No futuro, prefiro utilizar um <i>website</i> igual o aparecido ao apresentado.        |  |  |  |  |  |

Observações/Sugestões:

---

---

---

Obrigada ☺